
Universidad de Guadalajara

FACULTAD DE AGRONOMIA



"BREVE ENSAYO SOBRE DIFERENTES MATERIALES
ESTRUCTURALES Y DE COBERTURA PARA LA
CONSTRUCCION DE UN INVERNADERO"

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO AGRONOMO
ORIENTACION SUELOS
P R E S E N T A
RODOLFO OROZCO GALVEZ

GUADALAJARA, JALISCO

ABRIL 1991

BIBLIOTECA ESCUELA DE AGRICULTURA

AGRADECIMIENTOS

Gracias al Ing. J. Pablo Torres Morán por la paciencia y desinterés al dirigir el presente trabajo, así como por la confianza y amistad que me ha brindado.

De igual forma, al Ing. Andrés Rodríguez García y al M.C. Salvador Mena Munguía, por el apoyo y las facilidades brindadas para concluir el mismo.

Mi completa gratitud al Arq. Ignacio Orozco Bernaldez y a Rodrigo Orozco Galvez por su imprescindible ayuda con las ilustraciones de todo el texto.



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
FACULTAD DE AGRONOMIA

Sección ... ESCOLARIDAD

Expediente

Número ... 0175/91

20 de marzo de 1991

C. PROFESORES:

ING. JOSE PABLO TORRES MORAN, DIRECTOR
M.C. SALVADOR MENA MUNGUÍA, ASESOR
ING. ANDRES RODRIGUEZ GARCIA, ASESOR

Con toda atención me permito hacer de su conocimiento, que habiendo sido aprobado el Tema de Tesis:

"BREVE ENSAYO SOBRE DIFERENTES MATERIALES ESTRUCTURALES Y DE COBERTURA PARA LA CONSTRUCCION DE UN INVERNADERO"

presentado por el (los) PASANTE (ES) RODOLFO OROZCO GALVEZ

han sido ustedes designados Director y Asesores respectivamente para el desarrollo de la misma.

Ruego a ustedes se sirvan hacer del conocimiento de esta Dirección su Dictamen en la revisión de la mencionada Tesis. Entre tanto me es grato reiterarles las seguridades de mi atenta y distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"PIENSA Y TRABAJA"
EL SECRETARIO

ING. SALVADOR MENA MUNGUÍA

srd!

man

Al contestar este oficio cítese fecha y número



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
FACULTAD DE AGRONOMIA

Sección ESCOLARIDAD.....

Expediente

Número ...0175/91.....

20 de marzo de 1991

ING. JOSÉ ANTONIO SANDOVAL MADRIGAL
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA
DE LA UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
PRESENTE

Habiendo sido revisada la Tesis del (los) Pasante (es)
RODOLFO OROZCO GALVEZ

titulada:

"BREVE ENSAYO SOBRE DIFERENTES MATERIALES ESTRUCTURALES Y DE
COBERTURA PARA LA CONSTRUCCION DE UN INVERNADERO"

Damos nuestra Aprobación para la Impresión de la misma.

DIRECTOR

ING. JOSE PABLO TORRES MORAN

ASESOR

ASESOR

M.C. SALVADOR MENA MUNGUÍA

srd'

ING. ANDRÉS RODRIGUEZ GARCIA

mam

Al contestar este oficio cite fecha y número

INDICE

INTRODUCCION.....	1
1 GENERALIDADES.....	3
1.1 Cultivos Forzados.....	3
1.1.1 Definición.....	3
1.1.2 Tipos de Protecciones.....	4
1.1.2.1 Acolchado.....	5
1.1.2.2 Cajoneras o Semilleros.....	5
1.1.2.3 Campanas de Plástico.....	6
1.1.2.4 Túnel.....	7
1.1.2.5 Cobertizos o Abrigos.....	8
1.1.2.6 Invernaderos.....	8
1.1.3 Importancia de los Cultivos Forzados... ..	9
2 INVERNADEROS.....	10
2.1 Definición.....	10
2.2 Finalidad de los Invernaderos.....	11
2.3 Factores Esenciales en la Implantación de Invernaderos.....	13
2.3.1 Especies para Cultivo.....	14
2.3.2 Clima.....	14
2.3.3 Acondicionamiento.....	16
2.4 Condicionantes Externas e Internas.....	17
2.4.1 Condicionantes Externas.....	17

2.4.2	Condicionantes Internas.....	18
2.5	Grado de utilización del Invernadero.....	18
2.6	Clasificación de Invernaderos en relación a su forma.....	20
2.6.1	Invernaderos Capilla.....	20
2.6.1.1	Invernaderos de Palo y Alambre (Tipo Parral).....	22
2.6.1.2	Invernaderos en Diente de Sierra.....	23
2.6.2	Invernaderos Curvos.....	26
2.6.3	Invernaderos Especiales.....	26
2.6.3.1	Invernadero Burbuja (Hinchable).....	26
2.6.3.2	Invernadero-Torre.....	30
3	MATERIALES EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCION DE ESTRUCTURAS.....	35
3.1	Definición de Estructura.....	35
3.2	Materiales Estructurales.....	36
3.2.1	Madera.....	37
3.2.2	Hierro o Acero.....	40
3.2.3	Hormigón.....	42
3.2.4	Aluminio.....	47
3.2.5	Plásticos.....	49
3.3	Estructuras especiales.....	51
3.3.1	Estructuras a base de Materiales Plásticos (Hinchables).....	51

3.3.2 Invernaderos constituidos por una Estructura Colgada.....	55
3.4 Bases de Cálculos para las Estructuras.....	58
4 MATERIALES DE COBERTURA PARA INVERNADEROS.....	63
4.1 Características de los Materiales de Cobertura.....	63
4.1.1 Características Físicas y Químicas....	64
4.1.2 Características Ópticas.....	66
4.1.2.1 Efecto Estufa o Efecto Invernadero.....	72
4.1.2.2 Fotoselectividad Específica de los Materiales de Recubrimiento.....	78
4.2 Criterios Generales para la Elección del Material de Cobertura.....	85
4.3 Materiales más utilizados para Coberturas de Invernaderos.....	87
4.3.1 Vidrio o Cristal.....	87
4.3.2 Materiales Plásticos.....	91
4.3.2.1 Plásticos Rígidos (Placas).....	93
4.3.2.1.1 Poliéster Estratificado con Fibra de Vidrio.....	93
4.3.2.1.2 Policloruro de Vinilo (Cloruro de Polivinilo).....	95
4.3.2.1.3 Polimetacrilato de Metilo.....	96
4.3.2.1.4 Policarbonatos.....	98

4.3.2.2 Plásticos Flexibles.....	98
4.3.2.2.1 PVC Flexible (Plastificado).....	98
4.3.2.2.2 Polietileno.....	99
4.3.2.2.3 Copolímeros EVA.....	102
CONCLUSIONES.....	108
RESUMEN.....	110
BIBLIOGRAFIA.....	113

INDICE DE CUADROS

2.1 Clasificación del Invernadero en Función del Régimen Térmico.....	15
2.2 Forma y Orientación de las Techumbres.....	19
2.3 Niveles Térmicos del Aire.....	33
2.4 Niveles Óptimos de CO ₂ , HR. Temperatura del Substrato e Iluminación.....	34
S/N Peso Medio de diferentes Tipos de Estructura..	59
S/N Escala Bean Fort.....	61
4.1 Características Principales de Diversos Materiales Utilizados en Cobertura de Invernaderos.....	67
4.2 Visibilidad Relativa de las diferentes Longitudes de Onda.....	80
S/N Transmisión de Luz de Paneles Coloreados de Poliéster/Vidrio.....	83
4.3 Comportamiento Termoaislante de distintas Láminas de Polietileno y Copolímero EVA.....	104

INDICE DE FIGURAS

2.1 a	Invernadero de Palo y Alambre tipo Parral...	24
2.1 b	Invernadero Metálico de Perfil Tubular.....	25
2.2	Invernadero Comercial en Forma Curva con Material de Cobertura en Plástico y Estructura Metálica.....	27
2.3	Invernadero-Torre.....	32
3.1	Tipo de Invernadero Comercial con Estructura de Hormigón.....	43
3.1 a	Invernadero Comercial a dos Vertientes, Cubierta de Vidrio y Estructura Metálica....	44
3.1 b	Detalles Constructivos.....	45
3.2	Ejemplo Real de un Plano de Cimentación con los Detalles de Soportes de Pilares.....	48
3.3	Dibujo Esquemático de un Sistema de Invernaderos Inflables, mostrando el Recorrido del Aire.....	52
4.1	Espectro Visible en Forma de Colores y de Longitudes de Onda y la Energía Solar recibida en la Superficie de la Tierra.....	71
4.2	Comportamiento de las Cubiertas de los Invernaderos Frente a la Radiación Solar....	73
4.3	Variación de la Transmitancia en el Campo de la Longitud de Onda comprendida entre 400 y 1300 nm al Variar el Angulo de Incidencia y la Radiación Solar sobre una Cubierta.....	75

4.4	Transmisión a la Radiación Infrarroja Larga de distintos tipos de Polietileno.....	77
4.5	Comparación en los Espectros de Acción y de Absorción de un Organismo y del Espectro de Absorción de Pigmentos Fotosintéticos Importantes.....	82
4.6	Indicadores para la Elección de un Material de Cobertura.....	88
4.7	Espectro de Reflexión de Algunos Materiales de Cobertura para Invernaderos.....	105
4.8	Comportamiento de diferentes Materiales de Cubierta al Infrarrojo Lejano.....	106

INTRODUCCION

La crisis agrícola que vive el país desde la segunda mitad de la década de los setentas, se ha visto acentuada por el rezago en los precios de los productos agrícolas básicos, las condiciones climáticas adversas y una baja rentabilidad (10). Se ha puesto de manifiesto un descenso real en la participación del sector agropecuario dentro del Producto Interno Bruto (8), lo que ha obligado en muchos casos a la sustitución o abandono de cultivos tradicionales (17).

Por otro lado, está en proceso la apertura comercial de México y el gobierno ha manifestado un claro interés en hacer mas eficiente la actividad económica del país. El sector acerero, los textiles, la siderurgia y algunas ramas agropecuarias, deben promover el comercio internacional (7).

Para rehacer al sector agropecuario como actividad generadora de recursos, destacan dos posibilidades:

- a) Aumentar la productividad en lo que a productos básicos se refiere, con la utilización de tecnologías avanzadas y adecuadas a cada caso.

b) Fomentar la producción de cultivos altamente rentables, como son algunas hortalizas y cultivos florícolas, reduciendo el riesgo que ellos implican por sus dificultades técnicas y lo delicado de su manejo.

En la segunda propuesta, se alcanzan mejor los objetivos, implementando técnicas como el cultivo en *invernaderos*, porque éstos generan ahorros considerables en insumos y protegen los cultivos de las eventualidades climáticas, ayudan a lograr mayores producciones, mejor calidad, y recolección fuera de época, todo lo cual permite obtener productos con calidad de exportación y los consecuentes beneficios económicos. Estos beneficios son los que justifican en un momento dado, las inversiones en este tipo de construcciones (9)(13).

En la construcción de *invernaderos*, los dos componentes básicos que deben tomarse en cuenta y los que más influencia tienen sobre la efectividad de dichas protecciones son las *estructuras* y los *materiales de cobertura*, los cuales a su vez, deben definirse en base a factores muy importantes como son el clima, las necesidades del cultivo y la economía, entre otros.

Para incrementar el acervo de conocimientos sobre las características de los distintos elementos estructurales y de cobertura de *invernaderos*, se detallan en el presente estudio dichos componentes, sus propiedades, usos y posibles combinaciones, además de sus ventajas y desventajas.

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1 Cultivos Forzados

1.1.1 DEFINICION.

Se define el cultivo forzado o protegido como aquél que se lleva a cabo actuando en el acondicionamiento del microclima que rodea a la planta durante todo el ciclo productivo o en una parte del mismo (9).

A pesar de que se hace hincapié en la modificación del ambiente climático, el cultivo forzado también engloba todas aquellas técnicas como la fertirrigación, el manejo de la densidad, época de siembra y sanidad vegetal, que inciden en los objetivos que persigue el cultivo protegido (incremento de la producción, mejora de la calidad y precocidad de la cosecha). Además de lo anterior, el cultivo forzado se orienta a la producción de plantas de origen climático distinto del ambiente natural donde se desea cultivarlas (9)(13).

Las instalaciones utilizadas para alcanzar los objetivos que se han expuesto pueden ser muy diversas entre sí, tanto por las características y complejidad de sus estructuras, como por la mayor o menor capacidad de control del ambiente (1).

1.1.2 TIPOS DE PROTECCIONES.

Existen varios criterios para la clasificación de las protecciones utilizadas en cultivos forzados. Los italianos A. Alpi y F. Tognoni (1984) proponen una primera clasificación, a grandes rasgos, donde distinguen entre túneles, cajoneras o semilleros, e invernaderos.

Así mismo, los distintos tipos de instalaciones para forzado o protección de cultivos (1) se agrupan, en España, como sigue:

- * Acolchado.
- * Túnel.
- * Semillero.
- * Abrigo.
- * Invernadero.

De manera más específica, e intentando abarcar la diversidad de protecciones, se propone una clasificación más amplia:

- Acolchado.
- Cajoneras o semilleros.
- Campanas de plástico.
- Túneles.
- Cobertizos o abrigos.
- Invernaderos.

1.1.2.1 Acolchado.

El acolchado, también conocido como acolchamiento, empajado o mullido, es una técnica que emplea una cobertura en contacto con el suelo, de un material ajeno a él y que no incluye armadura alguna (1).

Esta técnica ha sido practicada desde hace muchos años por los agricultores con la finalidad de defender los cultivos y el suelo de la acción de los agentes atmosféricos, los cuales, entre otros efectos, producen la desecación del suelo, deterioran la calidad de los frutos, enfrían y lavan la tierra arrastrando los elementos fertilizantes, tan necesarios para el desarrollo vegetativo de las plantas (13).

Los materiales empleados a través del tiempo han sido, principalmente, materiales de origen vegetal tales como paja, cañas y hojas secas y materiales de origen mineral como la arena. Actualmente, a raíz del surgimiento de los materiales plásticos y del rápido desarrollo que ha sufrido esta industria, encontramos los acolchados con filmes de PVC y Polietileno, los cuales han aportado resultados excelentes al grado de desplazar a los anteriores (idem).

1.1.2.2 Cajoneras o Semilleros.

Los semilleros se usan sobre todo cuando se trata de proteger las plantas que luego serán trasplantadas al aire libre. En tiempos pasados, estas cajoneras estaban formadas por pequeños muros y por una cubierta de una o

dos vertientes, de madera y cristal en forma de "vitrina". Actualmente, estas estructuras han sufrido modificaciones técnicas como por ejemplo las cubiertas que ahora están hechas de hierro y cristal o de hierro y láminas de plástico rígido u onduladas.

El aspecto técnico principal por el que se pueden diferenciar diversos tipos de cajoneras o semilleros lo constituye la calefacción, según el cual se puede distinguir entre cajoneras "frías" o cajoneras "calientes" (1)(13).

1.1.2.3 Campanas de Plástico.

Las campanas de plástico son un tipo especial de coberturas que se utilizan para proteger de las heladas cada planta por separado, sobre todo cuando se trata de cultivos de siembra anticipada en pleno campo.

Estas campanas pueden ser de madera y cristal o, más comúnmente, de PVC termoconformado de color gris o azul celeste (véase inciso 4.1.2.2), con transparencia variable, siendo más opacas en la parte que está cerca del terreno. La parte superior está perforada y los agujeros están colocados de una manera asimétrica para que haya una renovación continua del aire y para que se pueda regular al mismo tiempo el paso de la luz de sol con el fin de evitar que las plantas se quemen.

BIBLIOTECA ESCUELA DE AGRICULTURA

A pesar de su utilidad, las campanas no han tenido mucha difusión y puede decirse que con la utilización de los túneles bajos no se emplean en absoluto (1).

1.1.2.4 Túnel.

El túnel es un dispositivo habitualmente temporal, no visitable, con armadura y que confina un determinado volumen de aire entre suelo y protección.

Este sistema de protección es el resultado de la evolución de las antiguas cajoneras o estructuras pentaédricas cubiertas con cristal, las cuales daban buenos resultados, pero que actualmente están totalmente en desuso por resultar antieconómicas, demasiado pesadas, de complicada manejabilidad y, sobre todo, por ser demasiado compactas, lo que resta luminosidad a los cultivos. Los plásticos han desplazado totalmente al cristal en estas estructuras debido a características tales (ligereza y flexibilidad), que pueden ser adaptados a estructuras circulares y ligeras, permitiendo a los cultivos recibir el máximo de insolación diaria.

Los elementos fundamentales que se precisan para la construcción de los túneles son: arquillos, láminas de plástico y anclajes y tensores del filme. Los arquillos o soportes, suelen ser de mimbres, cañas o alambres, por ser estos materiales simples y baratos; las láminas o filmes de plástico, pueden ser de materiales como el polietileno normal, el copolímero EVA (copolímero de etileno y acetato de vinilo), o PVC (Policloruro de Vinilo). A su vez, los tensores y anclajes del filme

pueden ser cuerdas, hilo sisal, rafia de polipropileno o polietileno, alambre galvanizado, o forrado con plástico, pinzas de sujetar la ropa, entre otros.

La utilización de uno u otro material se basa en la disponibilidad regional, el tipo de túnel y las posibilidades económicas de que se disponga (1)(13).

1.1.2.5 Cobertizos o Abrigos.

Los abrigos son instalaciones habitualmente temporales, con alguna armadura, visitable y con cerramiento parcial que se asemejan a invernaderos rudimentarios.

Actualmente, estos cobertizos se utilizan casi únicamente en pequeñas superficies de cultivo, sobre todo en cultivos remunerativos, como los florícolas y hortícolas.

1.1.2.6 Invernaderos.

Los invernaderos son protecciones instaladas de manera permanente, accesible y con cerramiento total (1).

El desarrollo en la construcción de invernaderos y la aparición de nuevos diseños coincidió con la difusión y la utilización de los materiales plásticos en los diferentes campos de la agricultura (9).

1.1.3 IMPORTANCIA DE LOS CULTIVOS FORZADOS.

Para lograr mayores beneficios económicos, se han utilizado sistemas de protección, el más completo de los cuales es el invernadero. En éste, los objetivos planteados para justificar el uso de protecciones o abrigos, se complementan con dos características: *eficiencia y funcionalidad* (9).

BIBLIOTECA ESCUELA DE AGRICULTURA

CAPITULO 2 INVERNADEROS

2.1 Definición.

Gorini, citado por A. Alpi y F. Tognoni (1984), publicó una definición de invernadero en un artículo de la Revista de la Hortofioricultura Italiana de 1962:

"un invernadero es una construcción de madera o de hierro u otro material, cubierta por cristales, provista por lo general de calefacción que, a veces, está iluminada artificialmente y en donde se pueden cultivar hortalizas tempranas, flores y plantas verdes, en épocas en las que la temperatura y la luz del lugar en donde se está cultivando serían insuficientes para su crecimiento y su fructificación".

Así mismo, Félix Robledo de Pedro y Luis Martín Vicente (1988) consideran como la definición más representativa de un invernadero la siguiente:

"Los invernaderos o abrigos son construcciones agrícolas, que tienen por objeto la producción sistemática y fuera de estación de productos horto-frutícolas, convirtiéndose en instrumento de trabajo que permite controlar eficazmente los rendimientos en calidad y cantidad".

Un invernadero es, pues, un sistema productivo constituido a base de una edificación cerrada y cubierta de un material transparente o translúcido, dentro de la cual se puede alcanzar un alto grado de acondicionamiento del microclima que rodea las plantas, de tal forma que es posible su producción fuera de temporada.

Como se mencionó anteriormente, la eficiencia y la funcionalidad son dos de las características más importantes que deben tener los invernaderos.

Por eficiencia se entiende la idoneidad para condicionar alguno de los principales elementos del clima, no de una manera estática o incontrolable, sino entre límites bien determinados de acuerdo con las exigencias fisiológicas del cultivo.

La funcionalidad es el conjunto de requisitos que permiten la mejor utilización del invernadero, tanto desde el punto de vista técnico como económico (9).

2.2 Finalidad de los Invernaderos.

Una de las diferencias fundamentales desde un punto de vista económico entre el sector primario, la agricultura, y los sectores secundario y terciario, industria y servicios, es la dependencia considerable de la mayoría de actividades agrícolas de los factores climáticos, que tienen una incidencia a menudo decisiva en los resultados (3).

Entre los factores climáticos más importantes se encuentra la temperatura. Todas las plantas tienen exigencias muy concretas en cuanto al límite de temperatura para su desarrollo vegetativo (desde la germinación hasta la fructificación) (13).

La dependencia de los factores climáticos junto con parámetros de tipo biológico que son más difíciles de cuantificar y controlar (como la incidencia de plagas y enfermedades), son básicamente las dos determinantes del carácter aleatorio de la producción agrícola (3).

Los invernaderos proporcionan el medio ambiente requerido, elevando las temperaturas exteriores, conservando la humedad del ambiente, protegiendo las plantas de plagas de insectos y defendiendo los cultivos del frío. En consecuencia, aceleran la precocidad de recolección de frutos, aumentan los rendimientos (en ocasiones en un 400%) y ayudan a obtener cosechas de alta calidad (como consecuencia de la protección que ejercen contra ciertos agentes que pudieran siniestrarlas como las sequías, heladas, vientos, granizos) (13).

Recapitulando, las principales ventajas que aportan los invernaderos (13), son:

- Precocidad de cosechas.
- Aumento de rendimientos (3 a 5 veces mayor que los obtenidos en plantaciones al aire libre).
- Posibilidad de obtener cosechas fuera de época.
- Frutos de mayor calidad (limpios, sanos, uniformes).

- Ahorro de agua (la evaporación es mínima).
- Mejor control de enfermedades y plagas.
- Posibilidad de obtener en la misma parcela de cultivo dos o tres cosechas al año.
- Disponibilidad de condiciones de cultivo idóneas para el estudio o la investigación.

2.3 Factores Esenciales en la Implantación de Invernaderos.

Normalmente la construcción de un invernadero se inicia como parte fundamental para la producción de un determinado tipo de planta. Esto implica un cuidadoso estudio previo de los factores que condicionarán la eficacia de la mencionada actividad (3).

La elección de un tipo de invernadero está en función de una serie de aspectos técnicos tales como las exigencias bioclimáticas de la especie en cultivo, las características climáticas de la zona o área geográfica donde vaya a construirse el invernadero, las disponibilidades de mano de obra y los imperativos económicos locales (mercado y comercialización). En definitiva, si se desea realizar un estudio sobre la elección o conveniencia de un determinado tipo de invernadero en una zona preestablecida, se deberán abordar los siguientes puntos: (9)

BIBLIOTECA ESCUELA DE AGRICULTURA

2.3.1 ESPECIES PARA CULTIVO.

Análisis de las plantas susceptibles de ser cultivadas (esto implica la rusticidad o sofisticación del invernadero). Según el régimen térmico a mantener en el interior de los invernaderos (9), estos pueden clasificarse en:

- a) Invernaderos fríos (temperaturas nocturnas: 2-10°C).
 - b) Invernaderos templados (temperaturas nocturnas: 10-14°C).
 - c) Invernaderos calientes (temperaturas nocturnas: 16-20°C).
- (Ver cuadro 2.1)

2.3.2 CLIMA.

Estudio comparativo del clima espontáneo creado por el invernadero que se desea construir y el descrito como ideal para la especie que se quiere cultivar. En éste caso, el material de cobertura y la forma del invernadero son los dos principales aspectos constructivos que se deben considerar en el modelo de invernadero diseñado (9). En relación al material de cobertura se pueden distinguir:

- a) Invernadero con vidrio.
- b) Invernadero con materiales plásticos:
 - b.1) En placas: poliéster, policarbonato, polimetacrilato.
 - b.2) En películas o filmes: polietileno, cloruro de polivinilo (PVC), etileno vinilo de acetato (EVA).

CUADRO 2.1 Clasificación del invernadero en función del régimen térmico (Basoco et al., 1983) *

Especie	Invernadero frío	Invernadero templado	Invernadero caliente
	Temp. not. 2-10°C	Temp. not. 10-14°C	Temp. not. 16-20°C
FLOR CORTADA	Allium, Anémón, Antirrhinum, Callia, Cymbidium, Clavel, Ranunculo.	Alstroemeria, Bouvardia, Cattleya, Cyrtopodium, Freesia, Gerbera, Gladiolo, Gardenia, Iris, Nerine, Strelitzia.	Anthurium andreaeanum, Dendrobium, Crisante-mo, Euphorbia fulgens, Eucharis, Lillium, Phalenopsis Rosa.
PLANTA EN FLOR	Azalea, Araucaria, Aralia, Camelia Cineraria, Chamaerops, Cordyline Australis, Grac-sula, Fatsedera, Ficus Macrophilla, Opuntia, Primula, Phoenix, Vallota, Yucca.	Adiantum, Begonia, Sempervlorens, Chamadorea, calceolaria, Glivia, Cordyline Terminalis, Clamen, Ficus elastica, Nephorepis, Nidularium Pellea, Philodendron Selloum, Platicerium, Polypodium, Pteris, Sansevieria.	Aechmea, Anthurium Soberzerianum, Asplenius nidus, Aphelandra, Begonia rie-ger, Caladium, Croton, Dieffenbachia, Dracaena, Gloxinia, Guzmania, Marantha, Philodendron per-tusum, Hortensia, Poinset-tia, Saint-paulia.

* Tomado de A. Alpi y F. Tognoni, 1984.

En relación a la forma se pueden considerar los siguientes:

- a) Invernadero capilla (a una o a dos aguas).
- b) Invernadero curvo.
- c) Invernaderos especiales: hinchables, torre.
(véase inciso 2.6).

Para completar el tipo de invernadero se debe considerar la estructura soporte. En este sentido se pueden distinguir:

- a) Invernadero con estructura de madera.
- b) Invernadero con estructura de acero o hierro.
- c) Invernadero con estructura de hormigón.
- d) Invernadero con estructura de aluminio (duraluminio).
- e) Invernadero mixto o combinación de algunas de las estructuras anteriores.

2.3.3 ACONDICIONAMIENTO.

Análisis de las mejoras técnicas a introducir en el microclima creado por el invernadero, con el fin de lograr en su interior un ambiente adecuado para el hábitat de la planta. En este apartado se haría referencia al tipo de calefacción (o ventilación) y al modo de distribución del calor, así como a cualquier tipo de tecnología que modifique el ambiente natural del invernadero, tales como el apoyo lumínico con fines fotoperiódicos o fotosintéticos, inyección de anhídrido carbónico, gestión climática (informática), entre otros (9).

A estas alturas, cabe destacar la gran variedad de materiales utilizables para la construcción y equipamiento de invernaderos disponibles en México (de fabricación nacional o de importación), lo que permite establecer un rango muy amplio en el renglón de costos de construcción.

2.4 Condicionantes Externos e Internos.

2.4.1 CONDICIONANTES EXTERNAS.

Estas condicionantes son el clima de la zona donde se desea construir el invernadero, las características físico-químicas del suelo (cuando el cultivo se planea directamente en suelo) o del material que se utilice como medio de cultivo en el caso de hidroponía, el abastecimiento y calidad del agua con fines de riego y a otras utilidades como el suministro de energía eléctrica, red viaria y comunicaciones (9).

En relación a la ubicación del invernadero, es preciso señalar que no siempre se tienden a valorar los climas más favorables. Es necesario considerar los diferentes componentes que caracterizan al ambiente climático, entre los que se pueden destacar: la evolución de la temperatura y humedad relativa en sus valores medios, diarios, extremos y estacionales, el período libre de heladas, la insolación real y la potencial, la intensidad de la radiación solar y la duración del día. Por último, no se debe olvidar la importancia que tiene el régimen de vientos en la zona, tanto por la acción mecánica (daños sobre la estructura y cubierta), como por su influencia en el incremento de las pérdidas de calor

en el invernadero. Cuando los vientos se presenten como un serio inconveniente para su construcción, se deben utilizar cortavientos (9).

La orientación de los invernaderos es otro de los aspectos a considerar entre las condicionantes externas del proyecto. Para las zonas cuyas latitudes excedan de los 28° (bien sea norte o sur), la orientación debe ser escogida de tal manera que permita la máxima captación de energía solar en el período invernal (idem). En el caso muy particular de México y de manera general, la orientación debe ser escogida de tal manera que los invernaderos presenten sus fachadas más angostas frente a la dirección de los vientos dominantes o formando esquina (máxime si los vientos puedan llegar a ser huracanados).

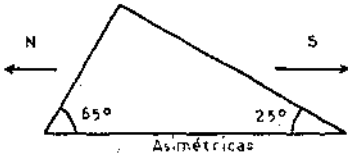
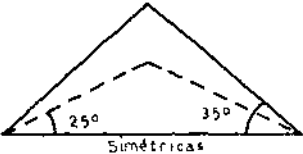
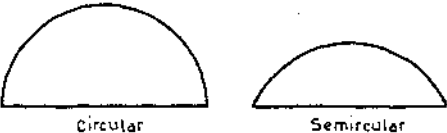
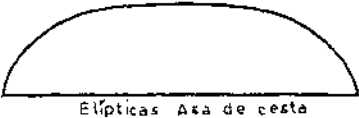
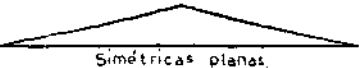
2.4.2 CONDICIONANTES INTERNAS.

Además de la forma de los invernaderos, entre las condicionantes internas (ver cuadro 2.2), se deben considerar la naturaleza de la estructura resistente, el índice o grado de utilización del invernadero y el material de cobertura.

2.5 Grado de Utilización del Invernadero

El nivel o grado de utilización de un invernadero se puede definir por el cociente entre la superficie útil ocupada por el cultivo y la superficie total cubierta por el invernadero ($Cu=Su/St$). Este índice adopta valores

Cuadro 2.2. Forma y orientación de las techumbres.*

TIPO DE TECHUMBRE	VENTAJAS	DESVENTAJAS
 <p>Asimétricas</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Invernaderos con gran iluminación. - Fácil deslizamiento de lluvia 	<ul style="list-style-type: none"> - Gran altura - Precio elevado - Sensibles a la acción del viento
 <p>Simétricas</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Precio bajo - Fácil deslizamiento de la lluvia - Poca acción del viento 	<ul style="list-style-type: none"> - Menor iluminación que - La nieve se desliza con dificultad con ángulos menores de 25°
 <p>Circular Semircular</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Gran iluminación en el invernadero - Fácil deslizamiento de la lluvia - Costo bajo - No les afecta el viento 	<ul style="list-style-type: none"> - Empleo de estructuras de hierro
 <p>Elípticas Asa de cesta</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Gran iluminación en el invernadero - Fácil deslizamiento de lluvias - Costo bajo - Poca acción del viento 	<ul style="list-style-type: none"> - La nieve desliza con gran dificultad - Empleo de estructuras de hierro
 <p>Simétricas planas</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Intensa iluminación interior - No les afecta el viento 	<ul style="list-style-type: none"> - No aptos para lluvia y nieve

* (Tomado de F. Robledo de Pedro et al., 1988)

BIBLIOTECA ESCUELA DE AGRICULTURA

variables entre 0.60 a 0.75. En el caso de cultivar planta ornamental en maceta. lo más frecuente es el uso de banquetas o mesetas fijas y elevadas en madera o hierro galvanizado. Sin embargo, también se dan explotaciones en las que el cultivo de la planta ornamental se realiza en banquetas fijas a nivel del suelo.

De introducción más reciente en las explotaciones son las banquetas móviles, cuya principal ventaja es el alto grado de utilización del invernadero (0.85 a 0.90). El principal inconveniente es su costo elevado (9).

2.6 Clasificación de Invernaderos en Relación a su Forma

2.6.1 INVERNADEROS CAPILLA

Los invernaderos "capilla", cuya forma exterior se asemeja a una caseta, es uno de los tipos de construcciones antiguos empleado para el forzado de cultivos con o sin calefacción. Para la construcción de la estructura se puede emplear la madera, aunque últimamente los tubos y perfiles de hierro galvanizado o las construcciones mixtas de madera-hierro son las preferidas.

La techumbre de este invernadero está formada por dos vertientes cuyo plano de inclinación forma con el horizontal un ángulo menor de 35°. Esta inclinación variará según las regiones, de tal forma que en aquellas de pequeña o escasa precipitación de lluvia y gran

insolación el ángulo de inclinación de las cubiertas de los invernaderos se reduce a 15° e incluso llega a tener 0° (Invernadero tipo parral).

Se construyen estos invernaderos en anchos de 6-12 m e incluso mayores, pero por regla general siempre en anchuras múltiplo de tres, dado que para la construcción de la estructura (techo) se utiliza tubo o perfil de 6 m de largo. La largura es arbitraria. La altura de las fachadas laterales varía de 2-2.5 m y la de la cumbrera de 3-3.5 m. También se construyen invernaderos más bajos que los señalados, pero no son recomendables.

La ventilación de estos invernaderos en unidades sueltas no ofrece dificultad ya que pueden llevar instaladas una serie de ventanas en sus techumbres o en las fachadas laterales. Esta se hace más difícil y problemática cuando varios de estos invernaderos se agrupan formando baterías, que es otra modalidad que emplean los agricultores para cubrir mayores superficies. Las baterías o adosamiento de varios invernaderos reducen los costes de instalación por metro cuadrado de suelo cubierto.

Los pilares o pies verticales que soportan las techumbres pueden ser de madera o de hierro (perfiles, tubos) y se disponen aproximadamente sobre el terreno a un marco de 3 por 3 m, variando esta disposición según la inclinación que se vaya a dar a las cubiertas. En algunos casos la disposición de los pies puede ser de 3 por 6 m, ya que se prescinde de un pie intermedio por utilizarse cerchas de 6 m. Sobre las correas que van apoyadas en

estos pilares se instalan los bajantes de madera, distanciados unos de otros aproximadamente 1.5 m y entrecruzados por alambres galvanizados. La distancia de los bajantes puede ser mayor si se emplea tela metálica en la cubrera. El plástico se fija a los bajantes por medio de listoncillos de madera que se clavetean a los mismos, y protegido a su vez con un entramado sencillo de alambre que forma cuadrículas de 1 por 0.5 m o similares. Esta protección evita los aleteos en el plástico.

Los invernaderos a una vertiente es una deformación de los tipos capilla, variando el plano de inclinación de las cubiertas, según las regiones, entre 5° y 15°. Tienen gran aplicación en regiones muy soleadas (13).

2.6.1.1 Invernaderos de Palo y Alambre (Tipo Parral).

Los invernaderos de palo y alambre que se describen a continuación, se denominan "tipo parral" por ser una versión modificada de las estructuras o tendidos de alambre empleadas en los parrales de uva de mesa en la provincia de Almería, España. Son, por lo tanto, estructuras de auténtico origen autóctono de ésta provincia. Estos invernaderos suelen tener una altura en la cubrera de 3 a 3.5 m. La anchura de nave o capilla es variable, aunque la más corriente es de 14 y 20 m. Varias de estas naves pueden adosarse unas a otras formando un invernadero de capillas múltiples, cuyas techumbres tienen una pendiente no superior al 15%. Estos invernaderos, a veces se construyen sin pendiente,

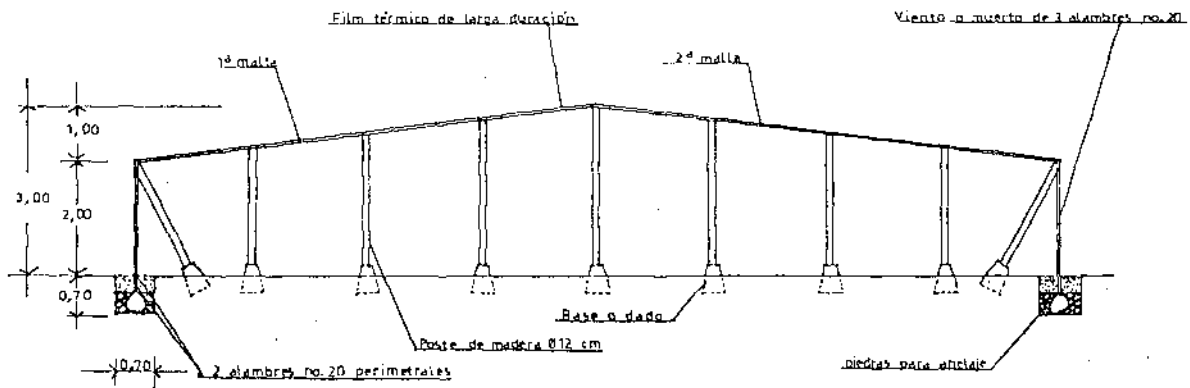
formando techo plano, lo que constituye un invernadero único, sin diferenciación o distinción de capillas adosadas (figuras 2.1 a y 2.1 b) (9) (13).

2.6.1.2 Invernaderos en Diente de Sierra.

La agrupación de varios invernaderos con techo a una vertiente constituyen los invernaderos "diente de sierra" y su denominación obedece a que el aspecto exterior, visto de frente, recuerda los dientes de una sierra. La inclinación de las cubiertas de estos invernaderos debe disponerse hacia el mediodía, con el fin de que penetre a través de las mismas la mayor insolación posible.

Son invernaderos de gran iluminación y en su interior se registran elevadas temperaturas, por lo que representan un buen sistema de protección para las plantas. En la fachada norte de cada uno de los módulos y por encima de la cumbrera del módulo siguiente se disponen grandes ventanales practicables, por donde se efectúa la ventilación del mismo.

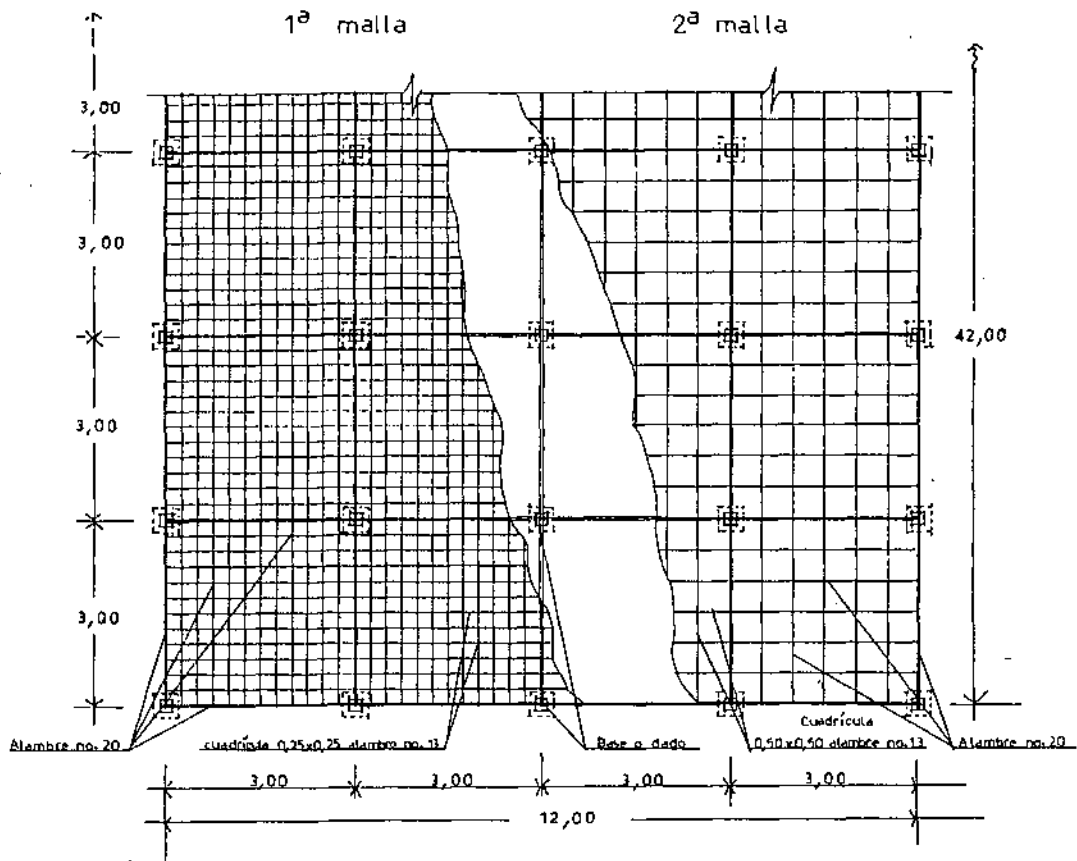
La mayor dificultad que a primera vista ofrecen estos invernaderos es la evacuación de las aguas de lluvia, pero con la instalación adecuada de un canal puede quedar resuelto este problema. Estos invernaderos presentan otro pequeño inconveniente, y es que al tener los módulos mayor altura, su cara norte proyecta sombras sobre el módulo adyacente, dando lugar a crecimientos desiguales en los cultivos y por consiguiente a retrasos en las cosechas. Estos invernaderos se utilizan tanto en horticultura como en floricultura (13).



SECCION

Fig. 2.1 a Invernadero de palo y alambre tipo parral (Almería) (Tomado de F. de Pedro et al., 1988)

Fig. 2.1 b. Invernadero metálico de perfil tubular (tipo almería).
 (Félix Robledo de Pedro et al., 1988)



DETALLE DE ALAMBRADO

2.6.2 INVERNADEROS CURVOS.

Los invernaderos con techumbres curvas tienen su origen en los invernaderos-túneles (o macrotúneles), siendo su acabado más perfecto. Se construyen preferentemente con armaduras metálicas, pero también pueden construirse con madera, llegándose a alcanzar con ellas grandes proporciones. Los tipos más corrientes se construyen en forma ojival.

Estos invernaderos tienen la gran propiedad de proporcionar a las plantas una gran luminosidad, por eso están recomendados para climas poco soleados. Para su cobertura puede emplearse polietileno, PVC, placa de poliéster o copolímero EVA (9) (13) (Fig. 2.2).

2.6.3 INVERNADEROS ESPECIALES.

2.6.3.1 Invernadero Burbuja (Hinchable).

Una de las muchas formas en que hoy día se puede construir un invernadero es la de burbuja o estructura hinchable. Su aspecto exterior se asemeja a un globo inflado, presentando múltiples aplicaciones. Todo lo que se necesita para construir este invernadero es una lámina de polietileno o de PVC transparente, cuyo grosor sea de galga 600-700 y un compresor de aire o un ventilador, para conseguir su inflado.

La lámina de plástico que se emplea en este tipo de invernadero debe tener una anchura mínima de 8-10 m, con el fin de evitar el mayor número de soldaduras. Para sujetarla al suelo se efectúa a lo largo del perímetro de

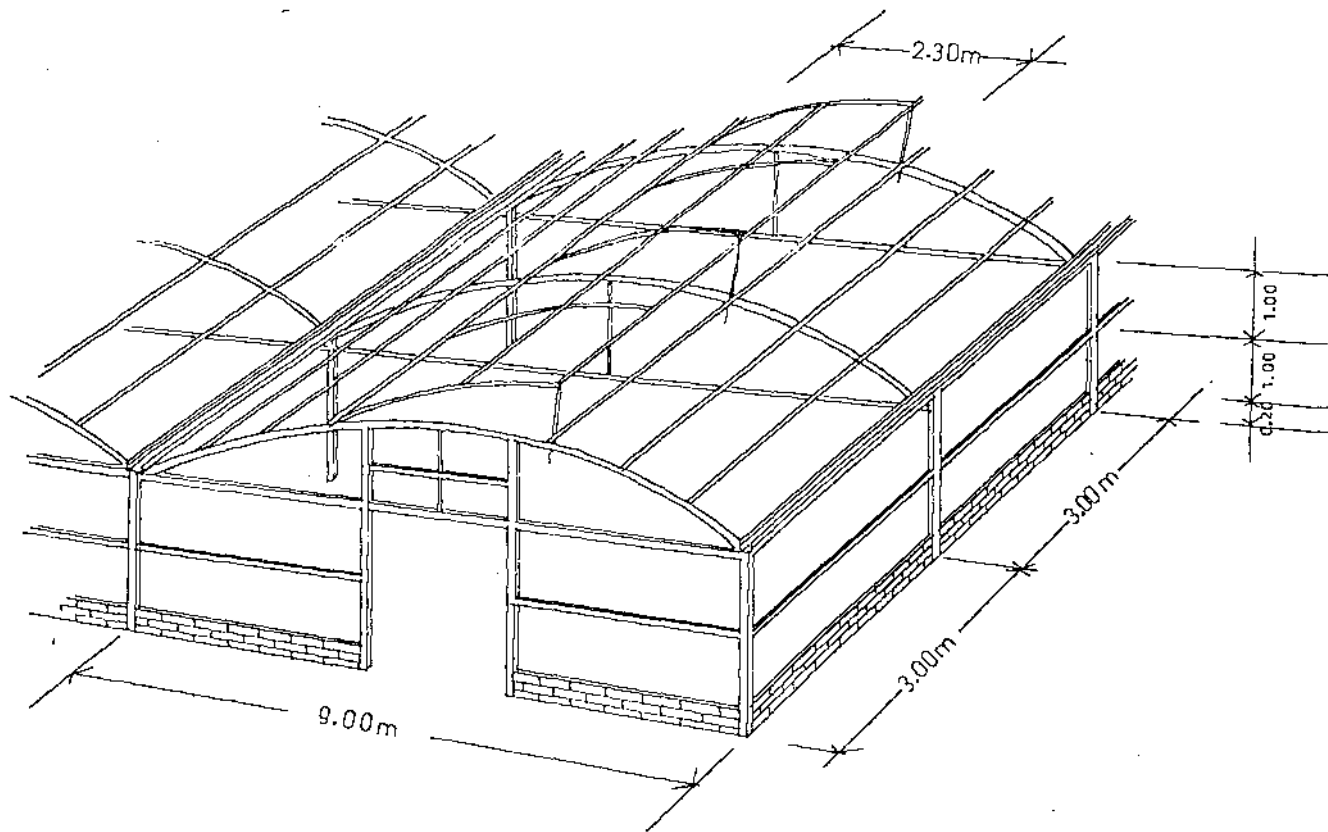


Fig. 2.2. Invernadero comercial en forma curva, con material de cobertura en plástico y estructura metálica.
(A. Metallografía, L. 1988)

la zona que se desea proteger una pequeña zanja de sección 30 por 30 cm, en la cual se entierran los bordes de la lámina de plástico. La burbuja debe orientarse de Este a Oeste ya que de esta manera recibe la máxima iluminación. También habrá que tener en cuenta los vientos dominantes y protegerlos de los mismos, aunque esto no es tan necesario como en el caso de invernaderos de estructura rígida, dado que al tener una sección curva y carecer de elementos rígidos, no ofrecen resistencia al viento.

El acceso a estos invernaderos se verifica a través de una cámara de doble puerta, la cual impide que cuando se abra la del exterior se pierda presión y se desinfla el invernadero. En el extremo opuesto va instalado un ventilador movido por corriente eléctrica o por baterías, que es el encargado de mantener la presión interior merced a la introducción de aire.

La principal ventaja de estos invernaderos es la de facilitar una gran luminosidad a las plantas y elevar considerablemente la temperatura del interior durante el día. Presenta varios inconvenientes, tales como precisar de una fuente continua de energía eléctrica para mantener permanentemente inflado al invernadero, aunque para casos de emergencia suelen instalarse unas baterías que automáticamente se ponen en funcionamiento si se origina un cese de energía eléctrica. Otro inconveniente que presentan es la poca renovación de aire. Por otro lado, el aire que introduce el ventilador del exterior suele ser frío, en particular por la noche, lo que baja la temperatura del invernadero.

BIBLIOTECA ESCUELA DE AGRICULTURA

Para corregir este problema es preciso dotar al invernadero de una torre de toma de aire de unos 10 m de altura; con ellos se logra introducir en el invernadero por la noche un aire más cálido que el existente a ras del suelo.

En Inglaterra, Francia y Estados Unidos, este tipo de construcción tiene utilización tanto como invernadero para producción hortícola, como para almacenar productos y maquinaria. Otra variante de estos invernaderos son aquellos que tienen los paramentos laterales fijos y la techumbre inflada. La película que cubre los laterales se mantiene tensa y en posición fija mediante alambres tendidos horizontalmente al suelo y sujetos a postes colocados en las cuatro esquinas del invernadero. El techo adopta la forma curva al ir inflando. Este sistema tiene la ventaja de que si se produce un corte de energía, el techo (película plástica) no cae sobre los cultivos.

Dentro de la modalidad de estructuras parcial o totalmente hinchables, están los invernaderos que actualmente se están construyendo en Estados Unidos (California). Se utilizan estructuras metálicas similares a las empleadas en cualquier país, en las que se acoplan techos hinchables para crear una cámara de aire, por doble pared de lámina de polietileno, y ahorrar energía en los sistemas de calefacción. En otros casos, los paramentos laterales del invernadero o costados del mismo están constituidos por mangueras flexibles de polietileno, de unos 20 cm de diámetro, que al inflarse con aire se juntan unos contra otros y deja cerrado

herméticamente el invernadero. Cuando es preciso ventilar, se desinflan las mangueras y el aire penetra con facilidad por ambos costados (5) (13).

2.6.3.2 Invernadero-Torre.

El primer invernadero-torre fue ideado por el austriaco Ruthner, quien lo desarrolló por primera vez en Viena en 1963. Según lo pregona su nombre, fué construido en forma de torre con estructura metálica y con revestimiento de cristal o de plástico rígido. En este tipo de estructura, la explotación de los cultivos se realiza en altura, con una superficie en planta mínima. La utilización de este espacio es posible gracias a un transportador tanto vertical como horizontal, donde se alojan las macetas u otros contenedores en los que se realiza el cultivo. El riego se realiza mediante inmersión en una piscina de agua o solución nutritiva dispuesta en la base del invernadero. La cantidad y la periodicidad pueden regularse variando la velocidad de la cinta transportadora. Es decir, se utiliza de una manera más completa y racional el volumen del invernadero (1) (9) (12).

Además de un uso más eficiente del suelo con el invernadero-torre, otras de las ventajas técnicas y económicas son: mejores condiciones de iluminación natural, buen control de las bases climáticas con facilidad de aireación natural o forzada, de calefacción, de regulación de la humedad, así como una economía notable en mano de obra dado el elevado grado de

automatismo. Sin embargo, el alto costo de este invernadero ha impedido su extensión a nivel comercial, limitándose a trabajos de investigación (figura 2.3).

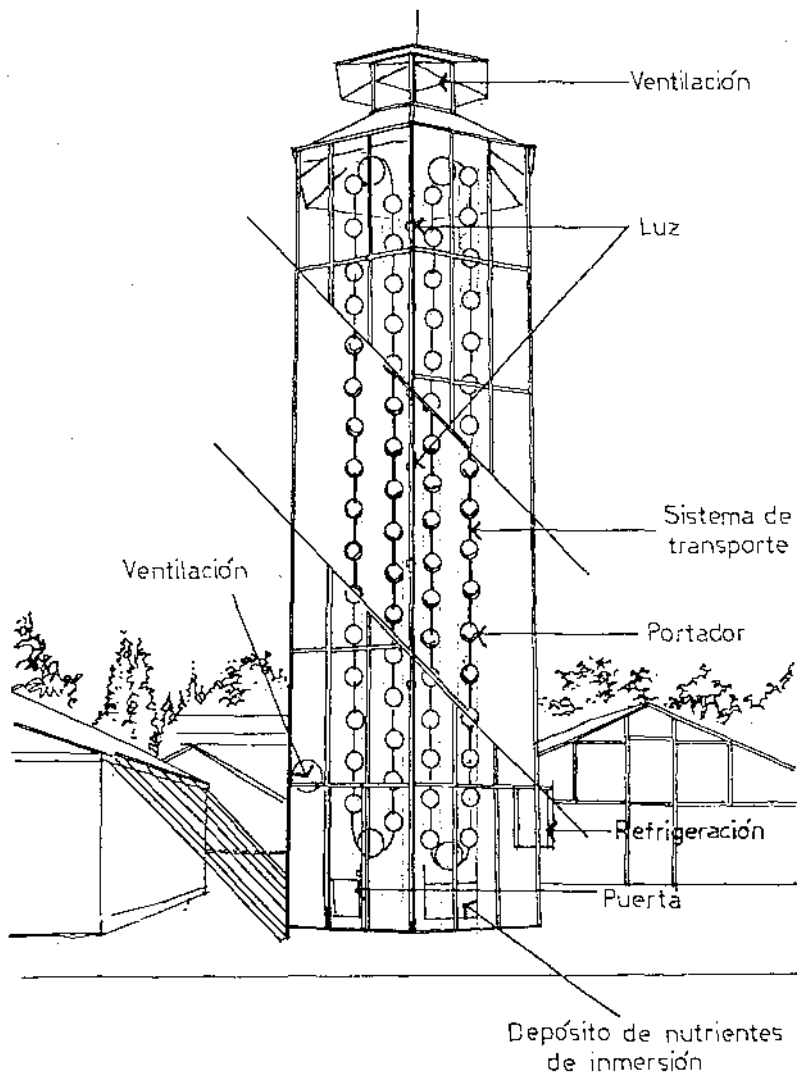


Fig. 2.3. Invernadero-Torre. ORIGINAL.

CUADRO 2.3 Niveles térmicos del aire (°C) (Tasi 1969) (Tomado de A. Matallana, 1988).

Especie	Temperatura min. letal	Temperatura min. biológica	Temperatura óptima		Temperatura max. biológica	Temperatura germin/radío	
			Noche	Día		Mínima	Óptima
HORTICOLA							
Tomate	0-2	8-10	13-16	22-26	26-30	9-10	20-30
Pepino	0-4	10-13	18-20	24-18	28-32	14-16	20-30
Melón	0-2	12-14	18-21	24-30	30-34	14-16	20-30
Calabaza	0-4	10-12	15-18	24-30	30-34	14-16	20-30
Judía	0-2	10-14	16-18	21-28	28-35	12-14	20-30
Pimiento	0-4	10-12	16-18	22-28	28-32	12-15	20-30
Berenjena	0-2	9-10	15-18	22-26	30-32	12-15	20-30
Lechuga	{-2}-0	4-6	10-15	15-20	25-30	4-6	20-30
Fresa	{-2}-0	6	10-13	18-22	-	-	-
FLORICOLA							
Clavel	{-4}-0	4-6	10-12	18-21	26-32	-	-
Rosa	{-6}-0	8-12	14-16	20-25	30-32	-	-
Gerbera	0	8-10	13-15	20-24	-	-	20-22
Crisantemo	-	6-8	13-16	20-25	25-30	-	-
Gladiolo	0-2	5	10-12	16-20	25-30	6-8	-
Tulipán	-	4-6	12-18	22-25	-	-	-
Iris y narciso	-	3-5	8-15	15-20	-	-	-
Lilium y Freesia	-	6-8	10-16	18-24	30-34	-	-
Cirolamen	-	2-4	12-18	20-22	-	15	18-20
Calla	-	-	10-13	14-20	-	-	-
Azalea-Rhododendron	-	6-8	12-14	14-20	-	-	-
Poinsettia	0-4	8-10	18-20	20-25	26-28	-	-
Gloxina	-	-	18-20	20-25	-	-	20-25
Primula y Calceolaria	-	-	18-20	20-25	-	-	20-25
Pelargonium	-	6-10	14-16	20-25	26-30	-	20-25
Saintpaulia	-	10-12	16-20	20-24	-	-	20-22
Kalanchoe	-	-	15	20-25	-	-	18-24
Hortensia	-	-	10-18	20-25	25-27	-	-
Gardenia	{-8}-0	-	15-17	21-23	-	-	-

CUADRO 2.4 Niveles óptimos de CO₂, H.R., temperatura del sustrato e iluminación (Tesi, 1969)

Especie	Temperatura óptima sustrato (°C)	(CO ₂) (p.p.m.)	H.R. (%)	Luz	
				Intensidad(lux)	Duración(hrs)
HORTICOLA					
Tomate	15-20	1000-2000	55-60	10.000-40.000	D.L.
Pepino	20-21	1000-3000	70-90	15, 00-40.000	D.L.
Melón	20-22	-	60-80	-	D.L.
Pimiento	15-20	-	65-70	-	D.L.
Berenjena	15-20	-	65-70	-	D.L.
Lechuga	10-12	1000-2000	60-80	12.000-30.000	D.L.
Fresa	12-15	-	60-70	-	D.C.
FLORICOLA					
Clavel	15-18 (radicaz)	500-1000	70-80	15.000-45.000	D.L.
Rosa	15-18	1000-2000	70-75	Pleno sol	D.L.
Gerbera	18-20	-	60-70	Pleno sol	D.L.
Crisantemo	18	400-1200	60-70	-	D.C.
Gladiolo	10-15	-	60-70	Pleno sol	D.L.
Tulipán	8-12	-	70-80	pleno sol	D.L.
Iris y narciso	10-13	-	60-70	pleno sol	D.L.
Lilium y Freesia	10-15	-	60-70	pleno sol	D.L.
Ciolumen	14-16	-	60-70	semisombra	D.L.
Azalea - Rododendron	15-18	-	80-95	-	D.L.
Begonia	18-20	-	60-70	semisombra	D.L.
Poinsettia	18-20	-	60-70	pleno sol	D.C.
Prímula y Calceolaria	-	-	60-75	pleno sol	D.L.
Pelargonium	-	1000-2000	60-70	pleno sol	D.L.
Saintpaulia	20-22	-	70-80	5000-20.000	-
Kalanchoe	-	-	60-70	pleno sol	D.C.
Hortensia	18-20	-	70-80	pleno sol	D.L.
Gardenia	19-22	-	-	pleno sol	D.L.
Cymbidium	10-14	-	80-90	15-30.000	D.L.
Dypridium	10-14	-	80-90	15-30.000	D.L.
Phalaenopsis y Cattleya	15-18	-	80-90	15.000	D.C.
Croton, Ficus	21-21	-	80-90	pleno sol	-
Dieffenbachia	18-20	800-1200	85-95	12.000-15.000	-
Bromeliaceas	18-20	-	80-90	semisombra	-

CAPITULO 3

MATERIALES EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCION DE ESTRUCTURAS

3.1 Definición de Estructura.

Según el "Diccionario Porrúa de la Lengua Española" (11):

Estructura f.: "Distribución y orden de las partes de un edificio o de una obra de ingenio".

Al abordar el tema de las estructuras para invernaderos, nos encontramos con que, aparte de diferenciar los diversos materiales empleados (madera, acero, aluminio, hormigón), varios autores realizan divisiones mas específicas dentro del mismo tema. Así tenemos que Félix Robledo de Pedro y Luis Martín Vicente (1988), denominan a los componentes de las estructuras como sigue:

- a) *Pies derechos.*
- b) *Cumbrera.*
- c) *Correas y bajantes.*

A su vez, Antonio Matallana G. y Juan I. Montero C. (1988) hablan de un conjunto de elementos que forman parte de la estructura y a su vez los dividen en:

- a) *Elementos cuya misión es resistir el material de cubierta (vidrio, plástico).*

- b) Estructura resistente, propiamente dicha, encargada de resistir las cargas debidas al peso de la cubierta y cargas exteriores.*
- c) Cimentación que transmite las cargas anteriores al terreno subyacente.*

Se acepta ésta clasificación como la más práctica. Obviando un poco, consideraremos que al mezclar los distintos materiales para los tres incisos que la misma presenta, se estaría hablando de un invernadero mixto (inciso 2.3.2).

3.2 Materiales Estructurales

La misión de las estructuras es la de soportar los materiales de cubiertas que han de dar la protección a los cultivos, además de aquellas sobrecargas eventuales, originadas por efectos climáticos como los fuertes vientos, lluvias y posibles nevadas. Ellas han de soportar, en muchos casos, las instalaciones automáticas de riegos y el peso de las plantas y frutos cuando en el invernadero se realiza el entutorado de las plantas (13).

Para soportar estas cargas así como esas sobrecargas que en un momento dado se pueden producir, los invernaderos precisan unas estructuras sólidas, resistentes y duraderas (idem).

Se está de acuerdo de que a la hora de construir el invernadero, lo más importante es pensar en crear el

BIBLIOTECA ESCUELA DE AGRICULTURA

clima óptimo para el crecimiento y buen desarrollo de los cultivos, por lo que debemos tener en cuenta sus propias necesidades.

Al considerar la luminosidad como uno de los principales requisitos para el crecimiento de las plantas, hay que procurar que las estructuras del invernadero proyecten el mínimo de sombras sobre los cultivos, por lo tanto éstas han de estar soportadas por el menor número posible de postes, con lo cual, aparte de aumentar la luminosidad, se facilita la mecanización de los cultivos, reduciéndose sustancialmente la mano de obra (13).

Una vez hechas las anteriores consideraciones, se estudiarán los materiales que de manera más o menos importante intervienen en la construcción de estructuras. Estos son: madera, hierro o acero, hormigón, aluminio (duraluminio) y plásticos.

3.2.1 MADERA.

La madera es el material primitivo utilizado en la construcción de invernaderos. Primero porque históricamente ha sido un material relativamente barato y abundante en el mercado, y segundo por resultar un buen elemento aislante del frío y del calor, evitando que a través de las estructuras se registren pérdidas de calor. Por otro lado, la madera no ofrece problemas en el anclaje y colocación de los materiales de cubierta cuando se trata de plásticos (13).

De la misma forma, cuando hay que prever modificaciones internas, los postes de madera dan más facilidades, sobre todo si no se dispone de herramientas especiales.

Otra ventaja de la madera es la facilidad de ser trabajada, cortada a medida y escuadrada en la propia obra. Por ello es el material más utilizado en casos frecuentes de invernaderos construidos por los propios usuarios (3).

En México, por ser relativamente de reciente introducción el uso de invernaderos, se puede decir que el uso de la madera ha sido muy restringido a las zonas realmente consideradas como madereras. Por el contrario, en los países europeos fué y ha sido, como se expresó, el material pionero por excelencia en la construcción de estructuras para invernáculos.

No todas las maderas existentes en el mercado son idóneas para la construcción de invernaderos, por lo que hay que tener en cuenta sus características físicas y mecánicas, su durabilidad y su precio (13).

La madera de pino es una de las más abundantes y más baratas en el mercado, sin embargo es poco duradera, por lo tanto se eleva el costo de mantenimiento de los invernaderos construidos con este tipo de madera (idem).

En España, los tipos de madera más utilizados son el pino y el castaño, debido a su abundancia. En Gran Bretaña recomiendan el cedro rojo para invernaderos de pequeñas dimensiones (3).

Los palos o "rollizos" de *Eucaliptus* son quizás la madera que más se utilice en la construcción de invernaderos, especialmente como postes que han de soportar la cubrera. La longitud de los rollizos empleados varía de acuerdo con la misión que deben cumplir en el conjunto de la estructura. Suelen ser de 2.30 a 3.50 m de largo y de 10 a 14 cm de diámetro (se les considera un coeficiente de trabajo de unos 50 kg/cm² a la compresión) (13).

En cualquier caso, para que la madera tenga una determinada duración debe haber sido tratada previamente con productos conservadores (dinitrofenoles, arseniato de sodio, fluoruro de sodio, compuestos cúpricos o de zinc y mercurio), bien sea por remojo o inmersión o con brocha o pincel y/o pintadas con adecuados barnices (3).

Bernat Juanos *et al.* (1987) consideran que aún con los tratamientos mencionados y otros que se escapan por ser meramente regionales, podemos esperar una duración de unos 7 años para el castaño y de unos 15 para el pino.

Los mayores inconvenientes que presentan las estructuras realizadas en madera son varios, así, por ejemplo:

- Su durabilidad es más corta que las formadas a base de tubos o perfiles de hierro o acero (13).
- A igualdad de condiciones, la estructura de madera es menos luminosa, ya que presenta un sombreado mayor en el interior del invernadero (idem).
- En cuanto a las dimensiones libres, dentro del invernadero, si no se trata de estructuras muy complejas y caras, no pueden ser tan grandes como en modelos metálicos. Carlos Bernat Juanos *et al.* proponen anchuras máximas de unos 7 m, con distancias entre postes de 2 a 3 m. A su vez, A. Alpi y F. Tognoni consideran que la superficie que mejor cubren los invernaderos de este tipo es de 500-600 m².

3.2.2 HIERRO O ACERO.

La creciente necesidad de conseguir una máxima iluminación y por otra parte una máxima anchura libre en las naves para el cultivo ha ido favoreciendo la utilización de estructuras metálicas, que ofrecen mayor resistencia, mayor luminosidad y, a nivel profesional, mayor facilidad de montaje (3).

El hierro permite construir estructuras fácilmente adaptables a la configuración del terreno. Estas pueden ser ligeras aún tratándose de invernaderos de grandes luces; solo es necesario calcular las cargas a las que van a estar sometidos y utilizar los materiales convenientes (13) (ver figuras 3.1 a y 3.1 b).

Al dotar al invernadero con grandes luces, se contribuye a una mayor luminosidad en su interior además

de obtener una mayor capacidad de actuación y maniobrabilidad de maquinaria (eficiencia y funcionalidad).

A manera de ilustración, en un invernadero de acero o hierro, el área ocupada por material opaco difícilmente sobrepasa el 12% de área total, mientras que en un invernadero de madera u hormigón se supera el 20% (9).

Sin embargo, el hierro y acero presentan algunos inconvenientes:

- Al ser unos buenos conductores del calor, absorben gran parte de las calorías interiores del invernadero, las cuales transmiten hacia el exterior con el consiguiente enfriamiento de éste (13).

-Al estar el hierro o el acero sometidos a la radiación solar alcanzan durante el día elevadas temperaturas, las cuales han de soportar los materiales plásticos empleados en las cubiertas en sus zonas de contacto. Estas partes del plástico que soportan estas temperaturas están sometidas, a su vez, por las noches a las contracciones lógicas producto del descenso térmico. Todo ello da lugar a un debilitamiento continuo del plástico en estas zonas, llegándose a una degradación tan importante, con pérdidas absolutas de sus propiedades mecánicas, que al menor golpe de viento se rompe el plástico por dichas zonas, con los correspondientes perjuicios para los cultivos.

Este último factor negativo del hierro y el acero tiene una fácil solución, aunque ello representa un coste adicional al que de por sí tiene la estructura. Bastará con interponer entre el plástico y la parte metálica de la estructura un aislante térmico, que puede consistir en un simple listoncillo de madera, con lo cual la vida del plástico se alargará (13).

A pesar del inconveniente apuntado (que es tal en el caso de cubiertas plásticas), no cabe duda que el hierro o el acero son los materiales por excelencia a la hora de diseñar las estructuras para invernaderos (1) (3) (9) (13).

3.2.3 HORMIGÓN.

Las viguetas de hormigón se emplean poco en la construcción de invernaderos, por que, entre otras cosas, resultan a unos precios elevados, lo que condiciona su uso (9) (13).

Félix Robledo de Pedro y Luis Martín Vicente (1988), reportan que en Canarias, España, existen algunas instalaciones de este tipo, generalmente en invernaderos de grandes superficies que superan las tres o cuatro hectáreas. Las viguetas de hormigón se emplean no solo como pilares, sino también como correas en las cuales descansan los entramados sobre los que van colocados los materiales de cubierta, en dicho caso lámina de polietileno (figura 3.1).

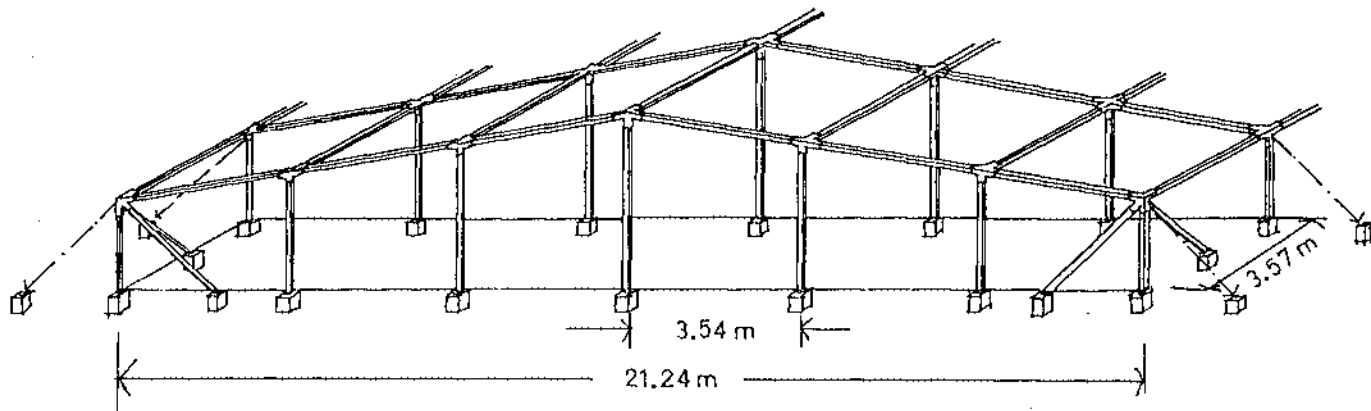


Fig. 3.1. Tipo de Invernadero comercial con estructura de hormigón (A. Matallana y J. I. Montero, 1988)

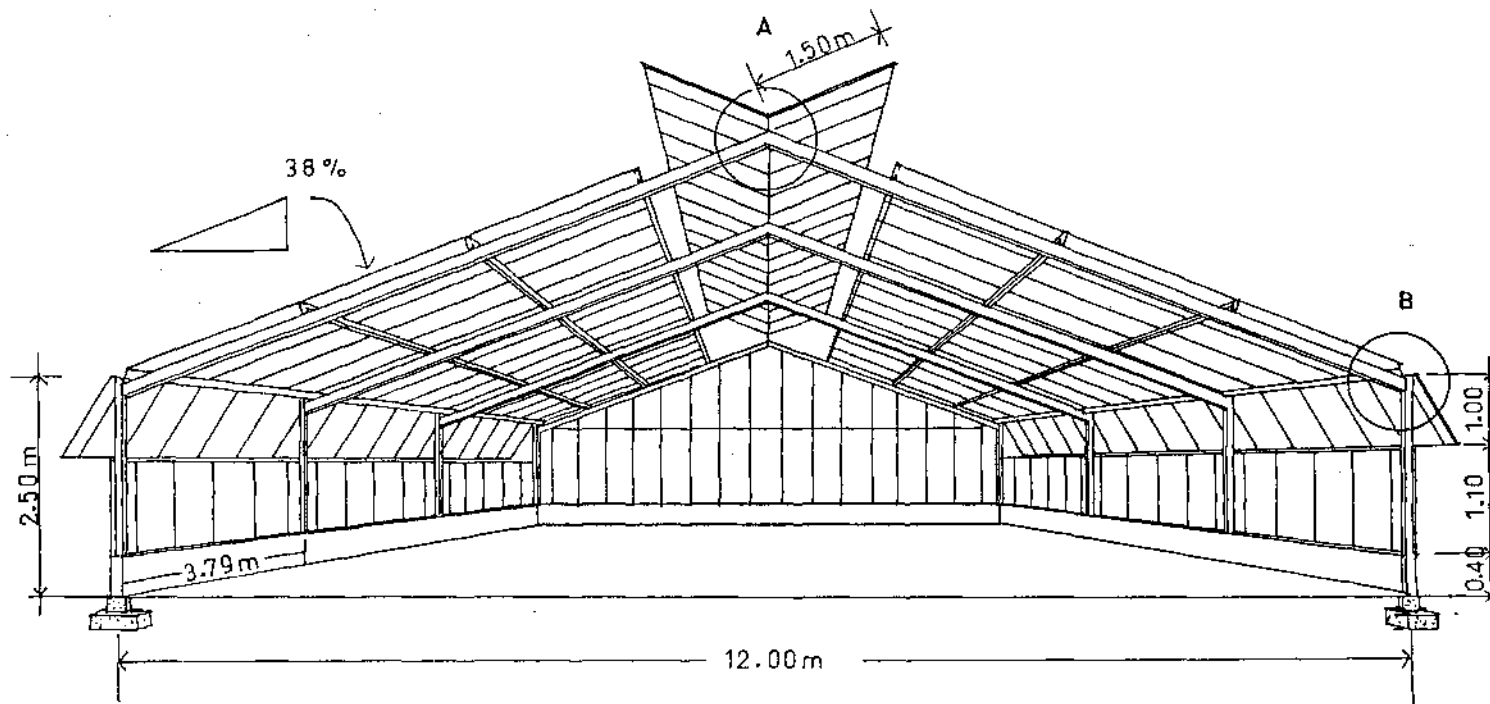
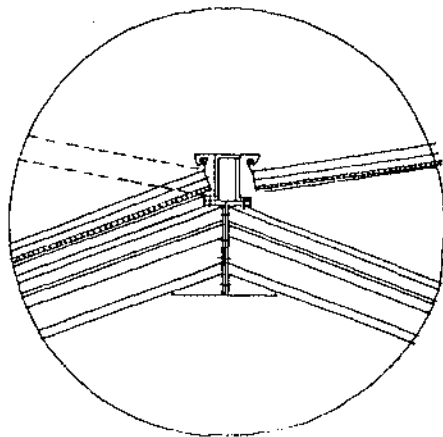
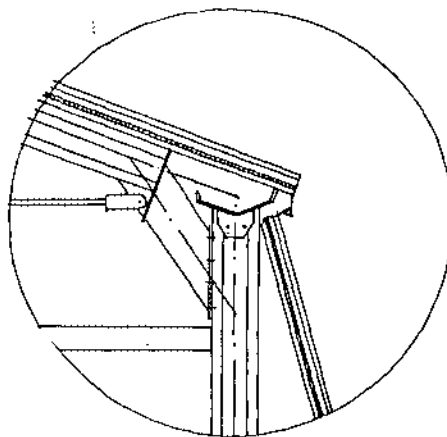


Fig. 3.1 a. Invernadero comercial a dos vertientes, cubierta de vidrio y estructura metálica.
 (A. Matallana y J. I. Montero, 1988).



DETALLE "A"



DETALLE "B"

Fig. 3.1 b. Detalles constructivos.

La duración de estas estructuras es muy superior a las realizadas a base de madera o hierro, pero también resultan a precios superiores. Las estructuras realizadas con viguetas de hormigón restan gran luminosidad al invernadero, pero también hay que tener en cuenta que con su empleo se reduce el número de pilares al poderse utilizar correas de mayor longitud, lo cual da lugar a que el invernadero sea más diáfano.

El empleo de viguetas de hormigón puede tener interés en aquellos invernaderos que precisan techumbres altas por exigirlo los cultivos, de acuerdo con la climatología de la región. En zonas de fuertes vientos el empleo de estas viguetas puede ser un remedio eficaz para evitar los derrumbamientos de los invernaderos.

Los invernaderos construidos con este material tienen unos costes de mantenimiento muy inferiores a los de estructuras de madera y hierro, dado que la duración es bastante mayor (13).

Por otro lado, el hormigón se utiliza para la realización de algún tipo de obra como base de la construcción de un invernadero. En muchos casos se trata de simples zapatas, de formas diversas, para cada uno de los pilares, ya sean metálicos o de madera (3).

En otros casos, especialmente en aquellos en que se construyen muros laterales más o menos consistentes, el hormigón se utiliza para hacer un cimiento corrido a todo

lo largo del perímetro de la construcción o como mínimo, siguiendo las dimensiones más largas, en las cuales están situados los pilares.

En casos muy excepcionales, cuando se trata de construcciones de mucha calidad, especialmente en casos en que el cultivo no vaya a realizarse en el suelo, la cimentación quedará completada por una losa de hormigón armado que cubrirá toda la superficie del invernadero (3) (figura 3.2).

3.2.4 ALUMINIO.

El aluminio, o las diferentes aleaciones a base de aluminio utilizadas, pueden considerarse como los materiales más idóneos para la construcción de invernaderos. Gozan de prácticamente todas las ventajas técnicas. Su único inconveniente es su precio elevado que hace que esté reservado a pequeños invernaderos de recreo o a invernaderos para fines muy específicos (investigación o producciones de gran valor económico).

Las dos grandes ventajas del aluminio con respecto al hierro son:

- En primer lugar, tiene mucho mayor resistencia a la corrosión. Haciendo a un lado la corrosión electrolítica por contacto con otro metal y el posible contacto continuado con determinados fertilizantes, el aluminio es totalmente resistente a

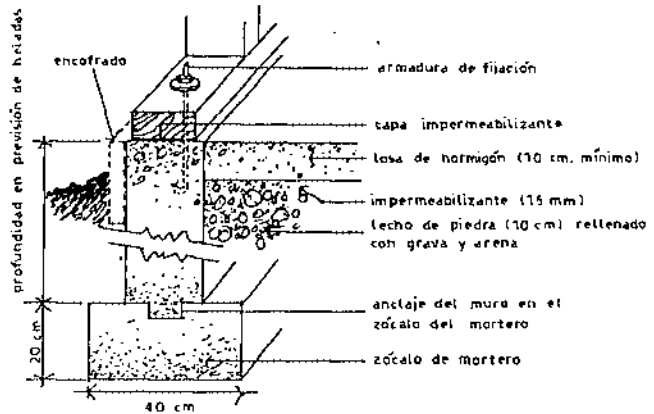
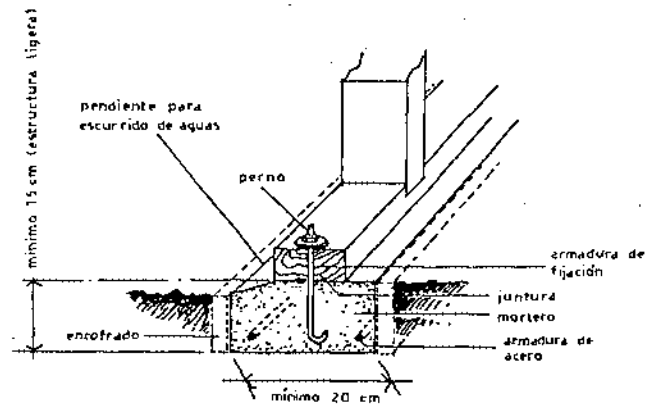
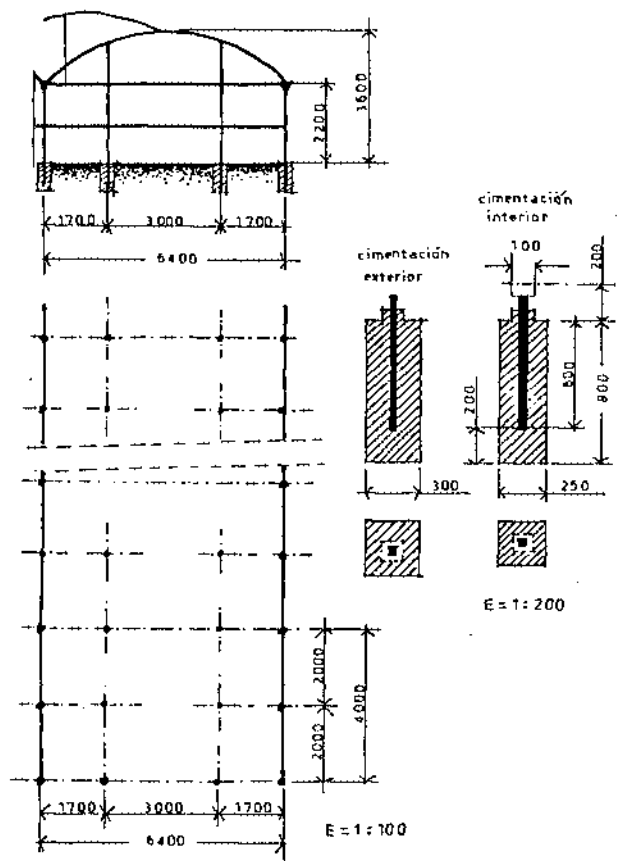


Fig. 3.2. Ejemplo real de un plano de cimentación con los detalles de soportes de pilares (C. Bernat et al., 1987)

los agentes atmosféricos. El coste de mantenimiento de una estructura de aluminio es casi nulo y su duración muy considerable.

- La otra ventaja es la forma variada de los perfiles que podemos utilizar de cara a la sujeción del material de cobertura.

Prácticamente en todos los casos, la cobertura de un invernadero con estructura de aluminio se hará a base de cristal o plástico rígido cuyas características son parecidas, en el momento del armado. En los perfiles de aluminio, de forma especial, se facilita considerablemente el montaje, se evitan riesgos de rotura en el caso del cristal y se puede conseguir una hermeticidad notable en el cerramiento.

Un factor a tener en cuenta en las estructuras de aluminio es la relativa debilidad de las soldaduras. La resistencia de una pieza a una carga determinada disminuye casi en un 50% en la proximidad de un punto de soldadura. Es importante recordar esta característica, especialmente para no forzar excesivamente las cargas interiores y para evitar posibles riesgos con cargas puntuales de viento, por ejemplo (3).

3.2.5 PLÁSTICOS.

Los materiales plásticos no se emplean con frecuencia en la construcción de estructuras para invernaderos, dado que sus propiedades no son precisamente las más adecuadas

para estos fines. Sin embargo, con ellos se han construido estructuras para invernaderos en países como Hungría y Estados Unidos (California).

Hasta ahora se han utilizado los tubos rígidos de policloruro de vinilo (PVC) de 1 a 2 pulgadas. Debido a que estos tubos permiten cierto grado de flexión, se pueden construir con ellos estructuras curvilíneas.

Ningún material plástico se puede considerar como lo más adecuado para construir estructuras de invernaderos, porque al ser materiales ligeros, las estructuras fabricadas con ellos son muy poco sólidas y corren peligro de ser destruidas por la acción de los vientos. Para evitar este posible mal, es preciso darles solidez y anclarlas perfectamente al terreno. Sin embargo, estas estructuras no deben de ser utilizadas en lugares donde existan vientos que superen los 30 km/hr.

La solidez se puede conseguir colgando de sus estructuras varios pesos uniformemente distribuidos a lo largo de las correas laterales o intersecciones de los distintos módulos que forman el conjunto del invernadero. Estas cargas no deben ser muy pesadas puesto que pueden producir deformaciones en los tubos de PVC.

Otra desventaja de estos materiales es que al estar sometidos a la radiación solar se degradan con facilidad, lo que da lugar a que la vida del invernadero sea más bien corta. Por otro lado, las altas temperaturas deforman con facilidad las techumbres de los invernaderos, dando lugar a que se produzcan bolsas de

agua cuando llueve que pueden derrumbar las estructuras. Para evitar estos hechos es preciso reforzar las cumbreras o correas del invernadero, formadas con estos tubos de PVC, mediante listones de madera que se acoplan por debajo de los tubos.

Los materiales plásticos solo ofrecen una ventaja frente a los materiales convencionales (hierro y madera), y es su bajo costo (13).

3.3 Estructuras Especiales

3.3.1 ESTRUCTURAS A BASES DE MATERIALES PLASTICOS (HINCHABLES).

La combinación de los plásticos como material que posibilita la máxima transmisión de la luz con la presión del aire como medio resistente dá lugar a lo que se conoce como estructuras neumáticas o hinchables (figura 3.3).

La idea fue puesta en práctica en Inglaterra en 1911 por F. W. Lanchaster, aunque no específicamente en invernaderos. La primera aplicación tuvo lugar asimismo, en Inglaterra, en 1954. La necesidad de obtener la máxima transmisión de luz con el mínimo costo dá lugar a mayores restricciones que en el diseño de otro tipo de estructuras industriales (5) (9).

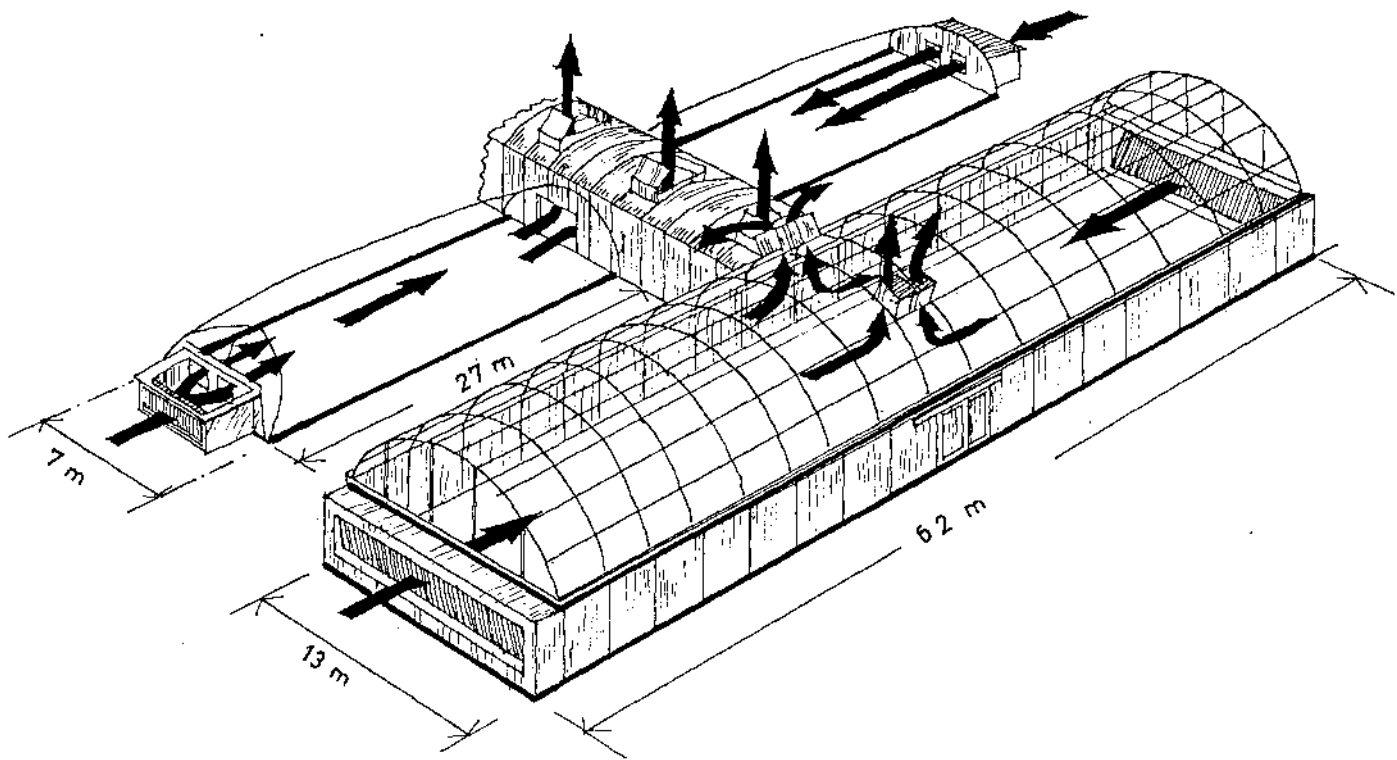


Fig. 3.3. Dibujo esquemático de un sistema de invernaderos inflables, mostrando el recorrido del aire.
(Tomado de Howard M. Resh, 1987)

Los componentes básicos de una instalación de este tipo son (idem):

- a) Cubierta.
- b) Ventiladores para soporte de la instalación y ventilación.
- c) Anclaje al terreno y acceso.
- d) Salida del aire de ventilación.

a) Cubierta

El material que constituye la cubierta debe elegirse entre aquellos que cuentan con las características físicas adecuadas y adopten la forma geométrica deseada. Normalmente, se utiliza la película de polietileno, a la que se ha añadido un inhibidor de la radiación ultravioleta. La anchura del invernadero viene definida por la resistencia de la película, la presión del aire, el método de anclaje al terreno y el perfil transversal óptimo. La forma de efectuar el anclaje determina la longitud del tramo de la película y la distancia transversal que proporciona una altura mínima de trabajo, el perfil del invernadero. Si lo que se quiere es cubrir una gran superficie, se deberá disponer un perfil muy rebajado, con altura de trabajo limitada. En el otro extremo se obtendría una estructura poco rebajada, con altura de trabajo superior a la necesaria, poco estable a la acción del viento. Entre estos dos extremos, el perfil ideal, en lo que a la transmisión de la luz se refiere, es el semicircular (9).

b) Ventiladores.

Para el soporte de la estructura en condiciones normales se dispone de uno o varios ventiladores que, además, deben de poder suministrar un incremento de presión, en condiciones de funcionamiento extraordinarias (tormentas, fuertes vientos), y una adecuada ventilación para limitar el gradiente térmico al deseado. La presión de funcionamiento en condiciones normales oscila entre 5 y 7.5 atm, incrementándose hasta unas 12 atm en condiciones excepcionales. Para mayores presiones se corre el peligro de producir tensiones excesivas en el revestimiento (9).

c) Anclaje y acceso.

La fijación del revestimiento al terreno se realiza normalmente enrollando parte de éste en un poste de madera u otro material al que se clava y enterrándolo en una zanja que previamente se ha excavado. Este método, muy simple de ejecución, tiene el inconveniente de que reduce la longitud efectiva del revestimiento y, por tanto, la luz de la estructura o, en su caso, la necesidad de efectuar juntas longitudinales. El acceso debe utilizarse de forma que no se produzca una pérdida de presión. Una de las formas más extendidas es disponer una cámara de aire (9) (ver inciso 2.6.3.1).

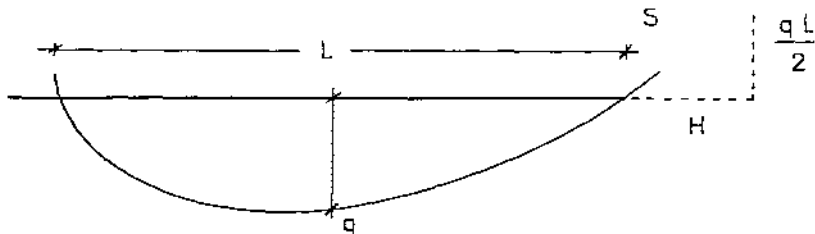
3.3.2 INVERNADEROS CONSTITUIDOS POR UNA ESTRUCTURA COLGADA.

La utilización de estructuras a base de cables de acero viene motivada por el interés en disminuir los pesos de la cubierta y estructura resistente, que en los invernaderos clásicos de acero oscilan entre 4 a 10 kg/m² para la cubierta de materiales plásticos y 12-18 kg/m² para las cubiertas de vidrio. Además, este tipo de estructuras posibilita cubrir grandes luces sin apoyos intermedios. Por el contrario, su inconveniente principal estriba en que se necesita un alto coeficiente de seguridad en el anclaje de los cables al terreno, ya que al ser estructuras en las que la geometría condiciona su esquema resistente, una ligera modificación en aquella, puede comprometer seriamente su estabilidad. Por otra parte, y a causa de su ligereza, son particularmente sensibles a la acción del viento, sobre todo cuando éste es racheado. Las estructuras constituidas por cables trabajan solo a esfuerzo axial, lo que supone un máximo aprovechamiento del material. En función de la configuración que adopten, pueden dividirse en:

- Estructuras sometidas a bajas tensiones ($f/L > 1/8$), que pueden representarse mediante la ecuación de la catenaria.

- Estructuras sometidas a altas tensiones ($f/L < 1/8$), que pueden representarse mediante la ecuación de la parábola.

Dado que las luces no son muy grandes, y para evitar que los soportes de los extremos de los cables sean excesivamente altos, se suelen disponer estructuras del segundo tipo en la construcción de invernaderos.



Consideremos, ahora, un cable de longitud L sometido a carga vertical uniforme q . La componente horizontal de la fuerza H es constante en cualquier punto del cable y vale:

$$H = \frac{qL^2}{8f} \quad (\text{ver esquema adjunto})$$

El esfuerzo axial máximo se da en el extremo y vale:

$$S_{max} = H^2 + (qL/2)^2 = qL \left((1 + 8 m^2) / (8 m^2) \right)$$

Siendo $m = f/L$.

En la siguiente tabla se dan los valores de S_{max} para diversos m en función de H y q .

	1/8	1/10	1/12	1/16	1/20	1/25	1/30	
S_{max}	1.125	1.08	1.056	1.031	1.02	1.013	1.009	*H
S_{max}	1.125	1.35	1.583	2.062	2.55	3.165	3.783	*(qL)/2

Como se ha indicado antes, uno de los inconvenientes de este tipo de estructuras es su poca rigidez, lo que las hace más inestables frente a acciones como el viento. La posibilidad de que el viento pueda actuar en ambas direcciones sobre la cubierta exige disponer otro dispositivo para absorber tales esfuerzos. Esto puede realizarse de dos formas:

- Mediante tirantes verticales o inclinados, aplicados en los cables transversales, en número y situación preestablecidos.

- Uno o varios cables longitudinales, sobrepuestos a los transversales y anclados en el terreno en los extremos del invernadero.

Esta segunda solución evita disponer soportes interiores, lo que parece más ventajoso. El perfil longitudinal de estos cables deberá ser parabólico, con concavidad invertida respecto a la de los transversales, lo que supone una variación de altura de los soportes exteriores de sostenimiento, dando lugar a una pequeña complejidad constructiva. El mejor aprovechamiento de los materiales en este tipo de estructuras conduce a pesos del orden de los 5 kg/m² notablemente inferiores a los obtenidos en las estructuras tradicionales (9).

3.4 Bases de Cálculos para las Estructuras

Las cargas que actúan en el invernadero pueden dividirse en *Cargas permanentes* y *sobrecargas* o cargas de funcionamiento. Entre las cargas permanentes, la principal de ellas es la del material de cobertura que puede ser de 7 a 15 kg/m² cuando se emplea vidrio y hasta 4 o 5 kg/m² en el caso de materiales plásticos. (Despreciable para el polietileno y PVC flexible) (13).

La carga que representa el conjunto de estructura más cubierta es variable, según los materiales empleados, y distinta, también, según los profesionales en estas materias (idem).

Según las normas inglesas esta carga puede ser de unos 35 kg/m², uniformemente distribuida en plano horizontal sobre la estructura, o también de 80 kg/m², uniformemente distribuidos en plano horizontal sobre el tercio inferior de las vertientes. Hay otras medidas de carga dadas en esta norma al igual que en las alemanas, francesas y demás, que varían de acuerdo con los puntos tomados en las estructuras, pero para tener una idea más aproximada se reflejan a continuación algunos datos orientativos (13).

Tipo de estructura	Peso medio de la estructura kg/m ²
Madera.....	8 - 16
Hierro con plástico flexible o rígido (luz 12 m)...	4 - 10
Aluminio con vidrio lúcido (luz 6 m).....	5 - 8
Hierro con vidrio lúcido (luz 9 m).....	8 - 14
Hierro con vidrio jardinera (luz 5-12 m).....	12 - 18

El peso de los materiales de cobertura es aproximadamente el siguiente:

- Vidrio hortícola: 10 kg/m².
- Poliéster-fibra de vidrio: 1 kg/m².
- Polietileno (200 micras = 800 galgas): 0.02 kg/m².
- Polietileno (100 micras = 400 galgas): 0.1 kg/m².

En las sobrecargas hay que considerar dos aspectos: las creadas por el clima de la zona y las sobrecargas de funcionamiento, que comprenden la de los equipos de calefacción, refrigeración, humidificación, iluminación, riego, acondicionamiento de cultivos (entutorado) y otras casi despreciables, como sombreado y aporte de dióxido de carbono.

Las sobrecargas debidas al clima hay que estudiarlas en función del clima en que se encuentra el invernadero, pues, si se contempla el fenómeno de nevadas, éstas no se producen con igual intensidad en todas las latitudes. También tiene gran influencia el ángulo de inclinación de

las techumbres de los invernaderos, pues está demostrado que si las vertientes se construyen con ángulos superiores a los 20°, las sobrecargas también se reducen en porcentajes superiores al 2 por 100.

Cuando se trata de invernaderos múltiples o asociados hay que tener en cuenta que la acumulación de nieve o granizo en las canales de recogida de aguas existentes entre dos módulos, es superior a la que se produce en las cumbres, como consecuencia de su deslizamiento. Para efectos de cálculo y siempre pensando en países cálidos, la sobrecarga producida estará próxima a los 50 kg/m² de superficie horizontal. Es importante señalar también las sobrecargas accidentales debidas a la acción sísmica, en los lugares en que se presente ésta.

La sobrecarga más importante a tener en cuenta para la instalación de invernaderos en climas mediterráneos son los vientos. Todos los cálculos realizados en este sentido establecen relaciones entre la velocidad del viento y presión estática correspondiente. La fórmula siguiente puede ser válida para estos fines:

$$S_c = V^2/16.$$

$$S_c = \text{sobrecarga en kg/m}^2.$$

$$V = \text{Velocidad del viento en km/hora.}$$

Como cálculo estimativo para valorar la sobrecarga producida por el viento, hay que tomar una cifra comprendida entre los 10 a 55 kg/m². En la tabla siguiente se establece el cálculo desobrecargas por viento en función de su intensidad:

BIBLIOTECA ESCUELA DE AGRICULTURA

Escala Beaufort	Viento moderado	Viento fuerte	Borrasca fuerte	Huracán
Velocidad viento Km/h.....	20	40-60	80-100	120-140
Fresión estática Kg/m ²	2	8-17	30-48	68-95

Lo realmente importante en la construcción de un invernadero es su diseño, no por aumentar su solidez a costa de utilizar estructuras pesadas aumenta la fortaleza del invernadero ante la fuerte acción del viento. En el diseño hay que cuidar con esmero las partes esenciales de las estructuras, como son las uniones entre pilares y armaduras, los esfuerzos a los que están sometidos los elementos estructurales que deben ser de tensión y no de compresión, los arriostramientos de dichas estructuras que deben ser longitudinales para contrarrestar la fuerza tangencial horizontal del viento, el buen anclaje de los materiales de cubierta, entre otros. Por último, cuidar bien todos los detalles del acabado y montaje del invernadero (Figuras 3.3 a y 3.3 b).

Respecto a las cargas que originan los equipos de riego, refrigeración, humidificación, éstas no deben calcularse por debajo de los 15 kg/m² en caso de peso uniformemente distribuido, o en su lugar, en el caso de cargas concentradas, cada 3 o 4 m de 50 kg.

Si los cultivos del invernadero son de enrame, hay que considerar las sobrecargas creadas por el entutorado, pudiéndose estimar éstas en unos 14-16 kg/m². uniformemente distribuido en plano horizontal. Lo más importante en el entutorado son las cargas que se producen en los frontales del invernadero. las cuales están comprendidas entre los 225-575 kg por 1.50 m (13).

CAPITULO 4

MATERIALES DE COBERTURA PARA INVERNADEROS

Es posible situar a la cobertura de invernaderos en un punto de mayor importancia sobre las estructuras puesto que se trata del factor que determina realmente la "protección" del cultivo, la estructura solo representa el soporte. Por ello, los materiales utilizados deben tener características especiales que les permitan cumplir esta función de protección (3).

4.1 Características de los Materiales de Cobertura

Se deben estudiar los materiales existentes en el mercado en función de unas características que permitan valorarlos y, sobre todo, compararlos unos con otros con la finalidad de elegir el más adecuado para cubrir las necesidades particulares de cada invernadero. En este sentido, los diversos factores se agrupan en dos grandes grupos:

- Características físicas (mecánicas) y químicas.
- Características ópticas (3).

4.1.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS.

a) Propiedades Mecánicas.

Resistencia a la tracción, al desgarre, a la rotura, al impacto. Es necesario conocer el módulo de elasticidad y las normas de ensayo utilizadas. Estas características tienen importancia fundamental cuando el invernadero está instalado, pero también la tienen en el momento de la construcción, especialmente de cara a la atención y cuidado con que ésta deba realizarse y a los sistemas de fijación del material de cobertura a la estructura.

b) Estabilidad.

Consistente en saber la capacidad del material para mantener a lo largo del tiempo las propiedades en cuestión, fundamentalmente al estar sometido a diversos agentes como la luz y las diferencias de temperatura. Lógicamente se trata de una propiedad básica desde un punto de vista económico. Existen materiales muy baratos pero fácilmente degradables. Se trata de estudiar el interés de utilizarlos teniendo en cuenta el costo de sus sustituciones repetidas.

c) Inercia química.

Se trata de una condición muy próxima a la anterior. Las modificaciones químicas provocadas por rayos ultravioleta o por cualquier otro agente se traducirán inevitablemente en variación de las propiedades físicas por las cuales el producto había sido elegido.

d) Densidad.

Es un factor interesante de conocer, principalmente cuando el producto se vende a peso, de cara a organizar los transportes y también porque la densidad influye en alguna de las otras características (cuadro 4.1).

e) Propiedades electrostáticas.

Favorecen la adherencia de polvo que disminuye la transparencia. Se debe saber la incidencia de este factor y posibles actuaciones para minimizarla.

f) Conductividad térmica.

Cuando en el interior se ha establecido un sistema de calefacción, las pérdidas de calor deben ser conocidas para establecer el correspondiente balance térmico. En ocasiones puede ser más interesante utilizar un material de cobertura algo más caro pero con un índice de conductividad térmica menor y poder reducir así la instalación de calefacción.

g) Permeabilidad a los gases.

La atmósfera en el interior del invernadero, con el contenido en humedad y en bióxido de carbono, es de vital importancia para el cultivo. En ocasiones será interesante una buena permeabilidad, en otras lo contrario. Se trata en cada caso de conocer las necesidades de las plantas y de la instalación y elegir el material adecuado en función de estas necesidades.

h) Tendencia a facilitar la condensación de agua en su cara interna.

La condensación de agua en la cara interna de las coberturas puede causar diversos problemas a los cultivos.

(3) (18).

4.1.2 CARACTERISTICAS OPTICAS.

Las características ópticas son las características más importantes a la hora de determinar la eficacia del material como elemento de protección de cultivos debido a su comportamiento con relación al paso de las diversas radiaciones. Las características ópticas están condicionadas por las características físicas (1) (3) (Ver cuadro 4.1).

El cristal tiene cualidades muy positivas a este respecto. Los plásticos se comparan normalmente con el cristal para conocer o establecer su comportamiento en este sentido. Se trata de concretar qué radiaciones atraviesan un material determinado y en qué proporción lo hacen. También interesa saber si en algunos casos las radiaciones que atraviesan el material sufren alguna transformación. Un detalle fundamental a la hora de escoger los materiales de cobertura es conocer el tiempo durante el cual mantienen sus propiedades ópticas (1) (3).

CUADRO 4.1

Características principales de diversos materiales utilizados en cobertura de invernaderos (de F. Robledo Pedro et al)

	Unidades	VIDRIO		
		Vidrio sencillo 3 mm	Vidrio doble	
			Reflejante 2 x 4 mm	Aislante 2 x 4 mm
PROPIEDADES OPTICAS				
Indice de refracción nD	-	1,52	1,52	1,52
Factor de transmisión:				
a) Rayos visibles 380-760 nm	-	0,87 a 0,90	0,60 a 0,20	0,70 a 0,40
b) Rayos solares 300-2500 nm	-	0,85	0,50 a 0,10	
c) Rayos infrarrojos 5000-25000 ...	-	0,00	0,00	0,00
PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS				
Densidad	10^3 kg m^{-3}	2,5	2,5	2,5
Módulo de elasticidad (Young E.)	kg mm^{-2}	7.000 a 7.500	7.000 a 7.500	7.000 a 7.500
Resistencia a la tracción	kg mm^{-2}	4 a 9	4 a 9	4 a 9
Resistencia a la flexión	kg mm^{-2}	4 a 5	4 a 5	4 a 5
Alargamiento a la rotura	%	-	-	-
Resistencia al desgarre iniciado	g	-	-	-
Resistencia al desgarre no iniciado	g	-	-	-
Resistencia al impacto	g	-	-	-
PROPIEDADES TERMICAS				
Coefficiente de dilatación lineal	10^{-6} K^{-1}	8 a 9	8 a 9	8 a 9
Coefficiente de conductividad térmica	$\text{W.m}^{-1} \text{ K}^{-1}$	0,7 a 0,9	0,7 a 0,9	0,7 a 0,9
Coefficiente de transmisión térmica	$\text{W.m}^{-2} \text{ K}^{-1}$	5,9	1,5 a 2,0	3,0
Campo de aplicación a frío y calor	$^{\circ}\text{C}$	-	-	-
Duración	-	-	-	-

CUADRO 4.1 (CONTINUACION)
 Características principales de diversos materiales utilizados en cobertura de invernaderos (de F. Robledo Pedro et al)

	PLASTICOS EN PLACAS		
	Poliésteres 1 mm	PMM 3 mm	PVC 1 mm
Propiedades ópticas			
Índice de refracción nD	1,52 a 1,57	1,49	1,54
Factor de transmisión:			
a) Rayos visibles 380-760 nm	0,7 a 0,8	0,85 a 0,93	0,77 a 0,80
b) Rayos solares 300- 2.500 nm	0,6 a 0,7	0,73	0,75
c) Rayos infrarrojos 5.000-25.000 nm	0,00	0,00	0,00
Propiedades físicas y mecánicas			
Densidad	1,5 a 1,6	1,19	1,4
Módulo de elasticidad (Young E.)	800 a 1.000	300	300
Resistencia a la tracción	9 a 14	6 a 7	4,5 a 6,5
Resistencia a la flexión	15 a 25	11	8 a 12
Alargamiento a la rotura	Muy débil	Muy débil	50 a 200
Resistencia al desgarro iniciado	-	-	-
Resistencia al desgarro no iniciado	-	-	-
Resistencia al impacto	-	-	-
Propiedades térmicas			
Coefficiente de dilatación lineal	40 a 50	73	60 a 80
Coefficiente de conductividad térmica	0,17 a 0,23	0,17 a 0,17	
Coefficiente de transmisión térmica K	5,8	5,5	
Campo de aplicación al frío y al calor	-20 a +100	-60 a +80	
Duración	5 a 10 años con absorbentes UV	15 a 25 años	5 a 10 años con absorbentes UV

CUADRO 4.1 (CONTINUACION)
 Características principales de diversos materiales utilizados en cobertura de invernaderos (de F. Robledo Pedro et al)

	PLASTICOS EN FILMES					
	PVC plastificado		PE bd		EVA	
	0.15 mm	0.20 mm	0.10 mm	0.15 mm	0.10 mm	0.15 mm
Propiedades ópticas						
Índice de refracción nD.....	1.54		1.51		1.51	
Factor de transmisión:						
a) Rayos visibles 380-760 nm.....	0.80 a 0.87		0.70 a 0.85		0.70 a 0.85	
b) Rayos solares 300-2,500 nm.....	0.82		0.80		0.80	
c) Rayos infrarrojos 5,000-25,000 nm....	0.28		0.73		0.60 a 0.80	
Propiedades físicas y mecánicas						
Densidad.....	1.2 a 1.3		0.91 a 0.92		0.92 a 0.93	
Módulo de elasticidad (Young E.).....	2 a 10		18 a 22		14 a 17	
Resistencia a la tracción.....	1.5 a 2.5		1.2 a 1.4		1.5 a 2	
Resistencia a la flexión.....	-		1 a 1.2		-	
Alargamiento a la rotura.....	150 a 300		350 a 500		650 a 900	
Resistencia al desgarre iniciado.....	500 a 1000	800 a 1300	400 a 700	400 a 900	200 a 400	450 a 1000
Resistencia al desgarre no iniciado.....	3200	3200	-	1300 a 2600	-	1900 a 2600
Resistencia al impacto.....	-	-	200 a 400	400 a 700	500 a 800	800 a 1200
Propiedades térmicas						
Coefficiente de dilatación lineal	60 a 80		200		100 a 200	
Coefficiente de conductividad térmica ...	0.14		0.29		0.35 a 0.41	
Coefficiente de transmisión térmica	5.8		5.8		6.0	
Campo de aplicación al frío y al calor...	-20 a +50		-40 a +50		-40 a +70	
Duración.....	1 a 2 años		0.5 a 1 año salvo fabricación esp.		1 a 1.5 años salvo fabricación esp.	

De cada material hay que establecer los correspondientes espectros de transmisión para conocer qué porcentaje de las distintas radiaciones que componen el espectro solar dejan pasar (3).

En base a lo anterior, la característica óptica que más nos interesa de los materiales usados para el recubrimiento de los invernaderos es su transparencia. Solamente si ésta es buena se consiguen las condiciones ambientales favorables para el desarrollo de las especies cultivadas (1).

Nisen (1959), citado por A. Alpi y F. Iognoni (1984) considera que las propiedades óptimas que deben tener los materiales de recubrimiento de un invernadero en lo que a transparencia a las radiaciones electromagnéticas (300-3500 nm) se refiere son las siguientes:

a) Reducir lo menos posible la cantidad de luz incidente (radiación visible). Ya se sabe que la intensidad de la luz solar que llega hasta el suelo en los meses de invierno en algunos lugares, es inferior a la cantidad necesaria para la fotosíntesis (figura 4.1).

b) No alterar, desfavorablemente, el espectro de emisión del sol. Recordemos a este punto que la utilidad del "ultravioleta", es decir, su valor fisiológico, es bastante discutido; de todos modos podemos asegurar que los materiales de recubrimiento, exceptuando tan solo unos pocos, tienen una buena

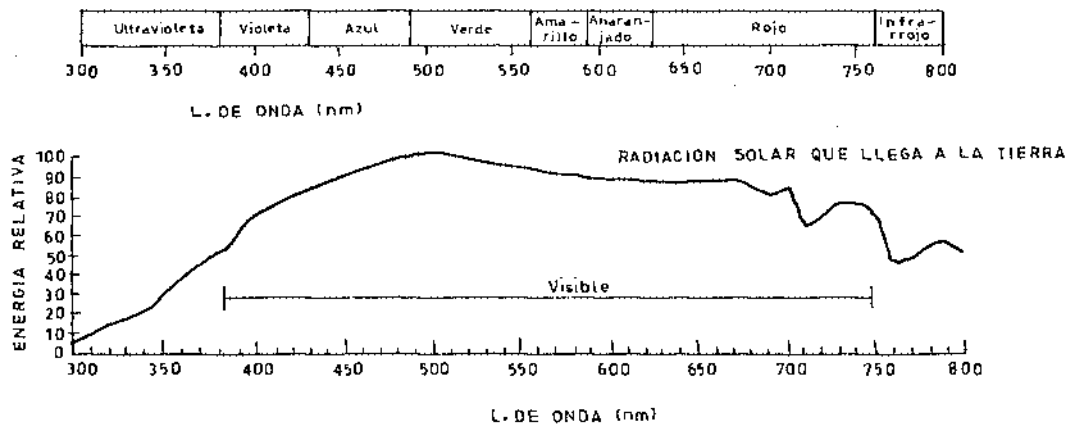


Fig. 4.1. Espectro visible en forma de colores y de longitudes de onda y la energía solar recibida en la superficie de la tierra. (Tomado de F. Robledo de Pedro et al., 1988).

transparencia en relación con esta radiación, por lo menos en lo que se refiere a las longitudes de onda que nos interesan (300-380 nm).

Se debe agregar que el material de cobertura debe contar con una transmitancia mínima del infrarrojo reemitido (de longitud de onda larga) para lograr un buen "efecto invernadero" y, por supuesto debe ofrecer protección física eficaz (contra viento, lluvia, granizo y pedriscos inclusive) (1) (3) (9) (13) (figura 4.2).

4.1.2.1 Efecto Estufa o Efecto Invernadero.

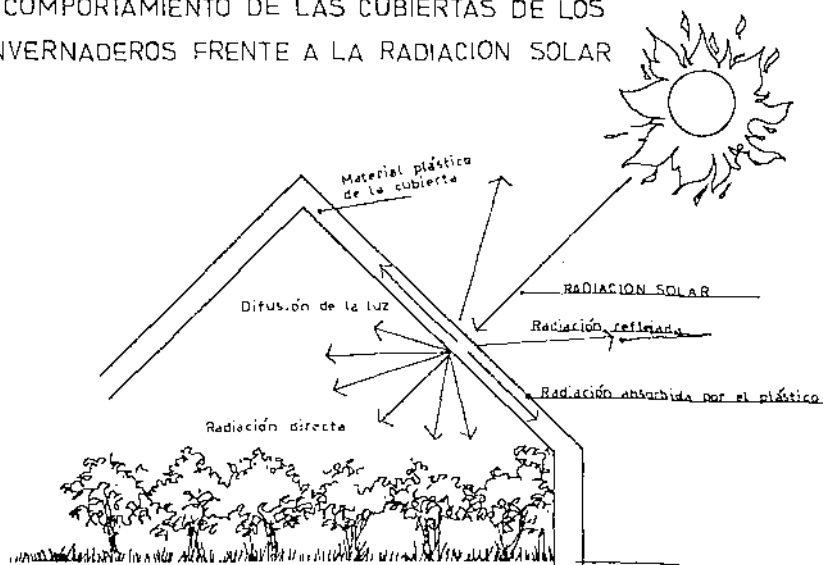
Como se mencionó, cualquier material utilizado como cubierta de los invernaderos debe poseer unas características base que pueden definirse por:

- a) Máxima transparencia a la radiación solar global o de longitud de onda corta.
- b) Máxima capacidad a las radiaciones térmicas o caloríficas de longitud de onda larga (mayor de 3000 nanómetros) emitidas por el suelo, la cubierta vegetal y la estructura del invernadero.

La combinación de las dos propiedades anteriores es lo que se denomina efecto estufa o efecto invernadero. Este fenómeno es la base para valorar la importancia que alcanzan las características ópticas del material de cobertura.

FIG. 4.2 COMPORTAMIENTO DE LAS CUBIERTAS DE LOS
INVERNADEROS FRENTE A LA RADIACIÓN SOLAR

*



* La luz incidente sobre un material puede ser reflejada, absorbida o transmitida.
(F. Robledo de Pedro et al., 1988).

En relación a la primera característica (a), puede decirse que la mayoría de los materiales de cubierta utilizados en los invernaderos presentan en incidencia normal para la radiación solar global (300/2500 nanómetros) una transmisión media ponderada variable entre 87% y el 91% (Nisen, A., 1979, citado por A. Mataliana y J. I. Montero, 1988). Es preciso indicar que éstos valores se obtienen al evaluar el material de cobertura en el momento de su colocación. Sin embargo, la capacidad de transmisión del material de cobertura a las radiaciones de longitud de onda corta varía según el ángulo de incidencia de la radiación solar sobre la cubierta del invernadero (15) (ver figura 4.3). Lo anterior tiene gran repercusión en el diseño de invernaderos, en el sentido de que en función de la latitud del lugar o de la zona donde se desea construir el invernadero se deberá adoptar una tipología del invernadero que mantenga un ángulo de incidencia con los rayos solares que no se traduzca en una disminución de la transmisión luminica (14). Esto último tiene gran interés en los países fríos o de baja luminosidad (9).

En relación la segunda característica (b) enunciada anteriormente, el comportamiento de los diferentes materiales de cubierta es bastante diferente si se compara con la propiedad (a). El 95% de la energía emitida por la cubierta vegetal, suelo y estructura del invernadero lo hace en un intervalo de longitud de onda comprendido entre 7 y 14 micras (7000 y 14000 nanómetros respectivamente). Es decir, entre estos límites los materiales de cubierta deberán presentar la máxima opacidad (mínima transparencia). Esto último se refleja

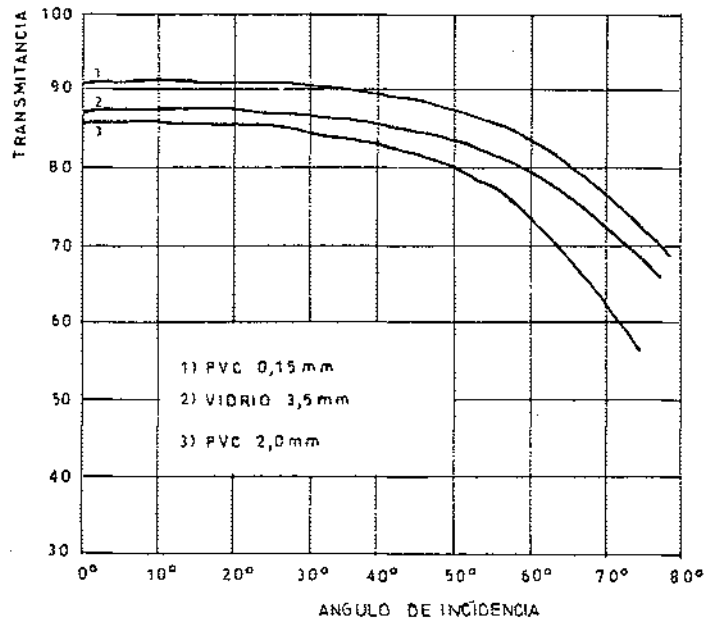


Fig. 4.3. Variación de la transmitancia en el campo de la longitud de onda comprendida entre 400 y 1,300 nanómetros al variar el ángulo de incidencia de la radiación solar sobre una cubierta (Da Sasso *et al.*, 1985) (Tomado de A. Matallana y J. I. Montero, 1988).

en la figura 4.4, en la que se ilustra el comportamiento de tres tipos de polietileno a las radiaciones de longitud de onda larga o caloríficas (idem).

La combinación de las características (a) y (b) conduce a que en el invernadero, bajo condiciones espontáneas o sin auxilio de un sistema de climatización, se logren temperaturas superiores a las existentes en el clima natural de la zona (aire libre). Por otra parte, este grado de protección térmica es variable según el material utilizado.

En términos generales, se puede decir que entre los films flexibles, el cloruro de polivinilo (PVC), el estileno vinil acetato (EVA) y el polietileno termico (PET) presentan un nivel medio de protección térmica nocturno similar del orden de 2°C a 2.5°C superior al régimen térmico existente al exterior del invernadero. Es preciso señalar que estos valores son orientativos y pueden ser superiores o inferiores a los indicados anteriormente en virtud de las características climáticas de la noche (temperatura, nubosidad, régimen de vientos, lluvia).

En caso de utilizar vidrio o materiales plásticos en placa, como el poliéster o el policarbonato, es posible alcanzar niveles medios de protección térmica nocturna del orden de 4-5°C, dependiendo una vez más estos valores de las características climáticas de la noche.

Lo anterior no puede extenderse al usar un polietileno normal o de larga duración, sin carácter de

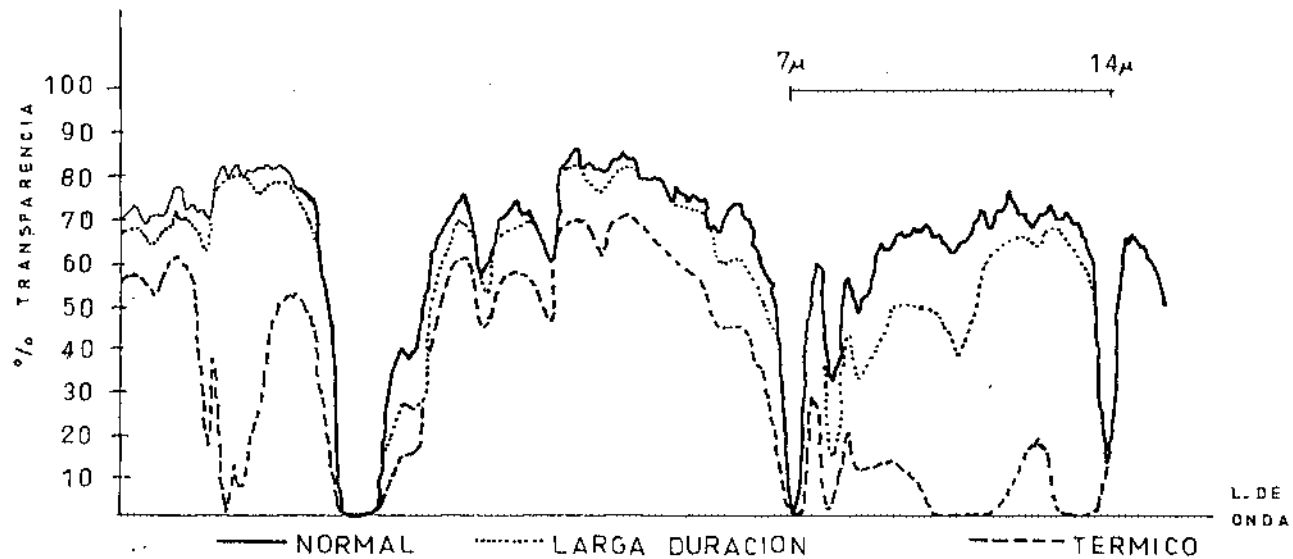


Fig. 4.4. Transmisión a la radiación infrarroja larga de distintos tipos de polietileno.
 (Adrados et al, 1983) (Tomado de A. Matallana y J. I. Montero, 1988).

termoislante, en los que es posible que se produzca la inversión térmica en el invernadero, originándose en el interior del mismo temperaturas más bajas que las existentes en el aire libre (Caballero *et al.*, 1967, citado por A. Matallana y J. I. Montero, 1988) (9).

4.1.2.2 Foselectividad Específica de los Materiales de Recubrimiento.

En Italia, el profesor Favilli ha creado una verdadera escuela en el estudio de los filmes de plástico de foselectividad específica, que inició hace unos veinticinco años.

En estos trabajos se parte del hecho de que las condiciones de absorción de la luz solar producen algunos efectos sobre la evolución de los diferentes procesos biológicos de la planta, hasta el punto de variar su ritmo de crecimiento y desarrollo. Se busca determinar si tales variaciones, aumentando o disminuyendo las actividades biológicas, pueden tener algunos efectos positivos sobre la productividad de las plantas cultivadas.

Todos los parámetros ambientales en el interior del invernadero adquieren unos valores distintos a los que existen al aire libre; esto ocurre ya de por sí por el simple efecto de la cubierta, pero el cultivador modifica aún más el ambiente con sus acciones de climatización porque quiere lograr unas condiciones óptimas para las plantas que está cultivando.

La propia luz, es decir, las radiaciones solares que el ojo humano percibe (ver cuadro 4.2), sufre una alteración más o menos sensible según el grado de transparencia del material de recubrimiento. Esta alteración del factor luz se realiza en dos categorías: cuantitativa, cuando se altera la intensidad luminosa, y cualitativa cuando concierne el espectro reduciendo o impidiendo el paso de las radiaciones de ciertas longitudes de onda.

Las operaciones de acondicionamiento del clima en el interior del invernadero, es decir, la intervención del productor, habían consistido hasta ahora en modificar la luz en sentido cuantitativo, es decir, se habían limitado a reducir la intensidad de la luz con materiales de sombreamiento, o a aumentarla usando luz artificial. Se puede, alterando la duración de la iluminación del día cuando sea necesario, actuar sobre el fotoperiodismo. Hasta ahora no se había tenido en cuenta la posibilidad de modificar la luz también en sentido cualitativo, cosa que puede resultar de mucho interés para algunos cultivos (1) (9) (13).

Hace poco ha empezado el estudio de un verdadero "acondicionamiento cualitativo de la luz", como lo llamó Favilli, 1966 (9) (13). A continuación se tratan estos estudios.

Para comprender la importancia que tiene el control cualitativo de la luz, basta considerar que muchas actividades vitales de las plantas se ven influenciadas de distinta manera por las variaciones de las radiaciones

CUADRO 4.2 Tomado del Manual del Arquitecto y el Constructor, 1975.

Long. de onda	Visibilidad relativa	
	0.000040	
Violeta	41	0.0012
	42	0.0040
	43	0.0116
	44	0.023
	45	0.038
Azul	46	0.060
	47	0.091
	48	0.139
Verde	49	0.208
	50	0.323
	51	0.503
	52	0.710
	53	0.862
	54	0.954
	55	0.995
Amarillo	56	0.995
	57	0.952
	58	0.870
	59	0.757
Anaranjado	60	0.631
	61	0.503
	62	0.381
	63	0.265
Rojo	64	0.175
	65	0.107
	66	0.061
	67	0.032
	68	0.017
	69	0.0082
	70	0.0041

de distinta longitud de onda: la fotosíntesis de la clorofila, el crecimiento, el fotoperiodismo, la morfogénesis, la formación de pigmentos y vitaminas, entre otras actividades (figura 4.5).

Si actividades tan numerosas y fundamentales de las plantas pueden estar influenciadas de distinta forma por las radiaciones de distinta longitud, puede pensarse en provocar artificialmente unos efectos benéficos para las plantas, modificando oportunamente las radiaciones del espectro luminoso.

Para lograr este fin, la manera sencilla es la de utilizar para el recubrimiento de los invernaderos, materiales que tengan una buena transparencia natural. Estos materiales, sean cristal o materiales plásticos, modifican el espectro solar según su propia fotoselectividad específica. Esta depende de las características físicas y químicas del material, pero sobre todo del color. Por lo tanto, se puede realizar el llamado *"acondicionamiento cualitativo de la luz"*, usando materiales transparentes de color.

Como se sabe, por el principio de complementariedad de los colores, si por medio de un filtro le quitamos a la luz blanca las radiaciones responsables de un determinado color, obtendremos una luz cuyo color será el complementario del que hemos quitado.

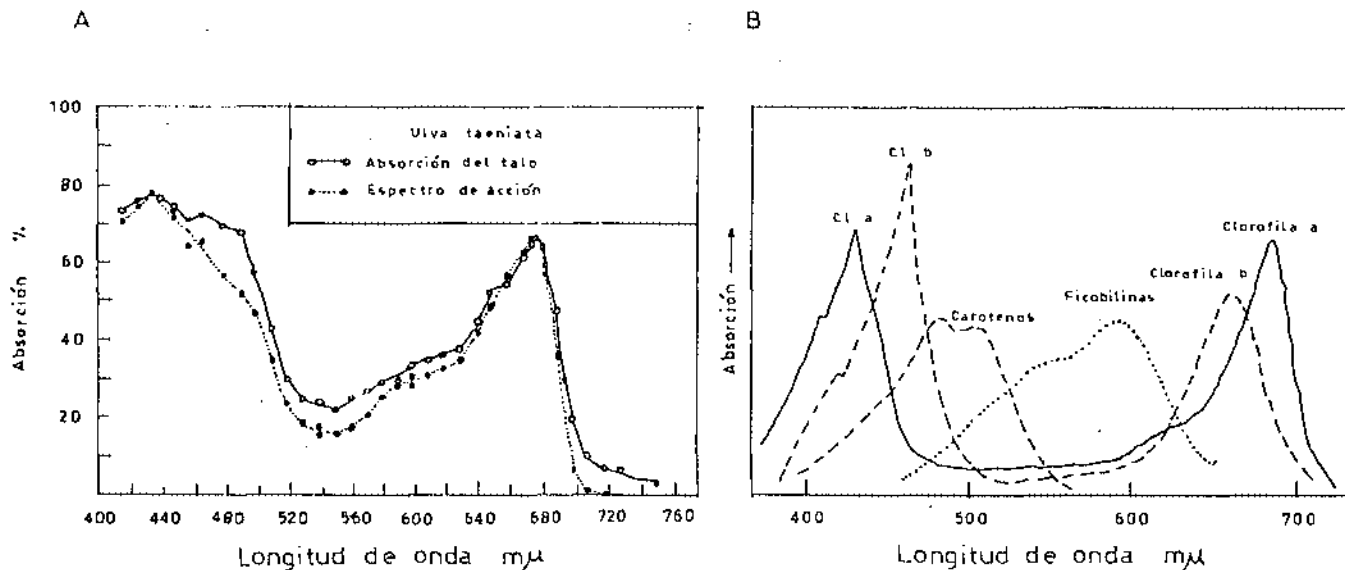


Fig. 4.5. Comparación en los espectros de acción y de absorción de un organismo y del espectro de absorción de pigmentos fotosintéticos importantes.

A. Espectro de acción y espectro de absorción del alga verde *Ulva*. Nótese la discrepancia entre los espectros de 460 y 500 nm (de F.T. Haxo y L.R. Blinks: J. Gen. Physiol. 43:404 (1950).)

B. Espectros de absorción de algunos pigmentos fotosintéticos.

(Tomado de R. G. S. BIDWELL, 1979).

De este modo, si en los materiales de recubrimiento eliminamos o disminuimos algunas radiaciones del flujo luminoso, conseguiremos alterar la acción fisiológica de dichos rayos en relación con las especies cultivadas.

Naturalmente, el actuar sobre la capacidad de selección de las radiaciones por parte de los materiales (que por razones económicas serán preferiblemente de plástico), resulta útil solamente si se trata de ambientes en los que no hay problemas de luz en cuanto a intensidad, puesto que todo material de color, además de modificar el espectro solar cualitativamente disminuye también su transmisibilidad (13).

Transmisión de luz de paneles coloreados de poliéster/vidrio

COLOR	TRANSMISION GLOBAL (%)
Natural.....	85
Azul claro.....	78
Verde.....	47
Amarillo.....	78
Roja.....	27

Favilli realizó una serie de experiencias muy interesantes sobre el problema de la fotoselectividad de los materiales de recubrimiento.

En sus experiencias, el profesor Favilli observó que, en determinados casos los materiales plásticos de color absorben una gran cantidad de radiaciones del color

complementario y una ligera reducción en la transmisibilidad de todo el espectro luminoso, mientras que en otros casos no ha hallado absorción en una banda específica y, en cambio, ha notado una fuerte disminución de la transmisibilidad de todo el espectro visible. La transmisibilidad de las radiaciones ultravioleta se reduce poco en las planchas rígidas de poliéster, de PVC y de polimetacrilato, sobre todo si las comparamos con los mismos materiales incoloros, mientras que la reducción es elevada en las láminas de polietileno y de PVC.

Por lo que se refiere al infrarrojo, Favilli notó una disminución en la capacidad de transmisión tan solo en el campo de las ondas más cortas, es decir, de una longitud de hasta 1000 nanómetros. En cambio, no se eliminan las radiaciones de infrarrojos de longitudes medias y largas (9).

Son poco numerosos los resultados sobre las eventuales modificaciones que estos materiales coloreados pueden aportar al rendimiento térmico del invernadero, pero experiencias realizadas con films de PVC azul y rojo no han puesto de manifiesto efectos apreciables. Por lo que concierne a los efectos fisiológicos que estos materiales tienen sobre las distintas especies cultivadas, parece ser que los colores más activos sobre la germinación son el azul marino y el amarillo y en general, se puede decir que el efecto es mayor sobre el poder germinativo, más que sobre la energía de germinación (1). De todos modos las distintas especies de plantas reaccionan de forma muy distinta. Los

efectos alcanzados en las producciones de determinadas plantas no son muy alentadores, sin embargo existen algunos ejemplos:

En largas experiencias realizadas con tomates se ha demostrado que el filme amarillo, con una transmisión de 40-60%, provoca un aumento constante de la producción (16-35%), mientras que el filme violeta (transmisión 40-70%) provoca muy poco aumento de la producción (5%) y una ligera precocidad. En ciertos lugares se cultiva el *Asparagus plumosus* bajo invernaderos teñidos de color rojo, y en otros se cultivan plantas ornamentales de flor con recubrimientos de color azul celeste (1).

A pesar de que ha habido resultados negativos, también los ha habido tendencialmente positivos como lo demuestran los ejemplos enumerados anteriormente, lo cual confirma la posibilidad de utilizar con provecho el "acondicionamiento cualitativo de la luz" (13).

4.2 Criterios Generales para la elección del Material de Cobertura

El primer criterio debe ser el económico. Se deben definir las necesidades del cultivo y la inversión económica justificada por estas necesidades. Actualmente se pueden encontrar plásticos rígidos tan caros o más que algunos cristales, y cubiertas con doble lámina de plástico flexible cuyo precio está también muy próximo al del vidrio. Conociendo las exigencias del cultivo y las

condiciones climáticas de la región se pueden determinar con una cierta aproximación las prestaciones que debe ofrecer la instalación (3) (6).

Si es imprescindible la climatización, se debe tener en cuenta la capacidad de aislamiento de las paredes y la hermeticidad que puedan asegurar las mismas. Si los intervalos de temperatura que se pueden admitir sin daño para el cultivo son muy reducidos se tiene que recurrir a sistemas de recubrimiento con las máximas garantías (3) (13).

Si se van a cultivar plantas muy sensibles a la iluminación, especialmente en regiones no particularmente claras, se debe escoger un material de recubrimiento de la máxima transparencia e incluso escoger un material que permita utilizar una estructura muy sencilla en el sentido de no crear una pantalla excesiva (3).

Otro punto importante a decidir es si el material a utilizar será rígido o flexible. En el caso de invernaderos de vidrio no existe tal disyuntiva. El plástico, por el contrario, puede utilizarse en forma de placas rígidas, de distinto tamaño y espesor, o bien en láminas flexibles. La decisión de utilizar uno u otro tipo puede depender del modelo de estructura escogido (el tipo túnel implica casi forzosamente utilizar láminas flexibles), de la capacitación de los montadores, de la rapidez con que se quiera realizar la construcción o de las posibilidades de disponer de mano de obra calificada para el mantenimiento (3).

Lo importante es que en el momento de realizar el proyecto se tengan en cuenta todas las particularidades del cultivo, del clima, de la explotación y del personal de la misma para tomar la decisión con el máximo conocimiento de causa (idem).

A. Matallana y J. I. Montero (9) consideran tres indicadores para la elección de un material de cobertura y proponen un esquema a partir de ellos (fig. 4.6), el cual resume muy bien los puntos más importantes a considerar para elegir un material de cobertura. Los tres indicadores son los siguientes:

1. Indicador A: respuesta agronómica (precocidad, producción y calidad).
2. Indicador B: envejecimiento o vida útil del material de cobertura.
3. Indicador C: estructura del invernadero, anclaje o sujeción del plástico.

4.3 Materiales más Utilizados para Cobertura de Invernaderos

4.3.1 VIDRIO O CRISTAL.

Hasta hace muy pocos años, relativamente, el único material utilizado como material de cobertura de invernaderos era el vidrio.

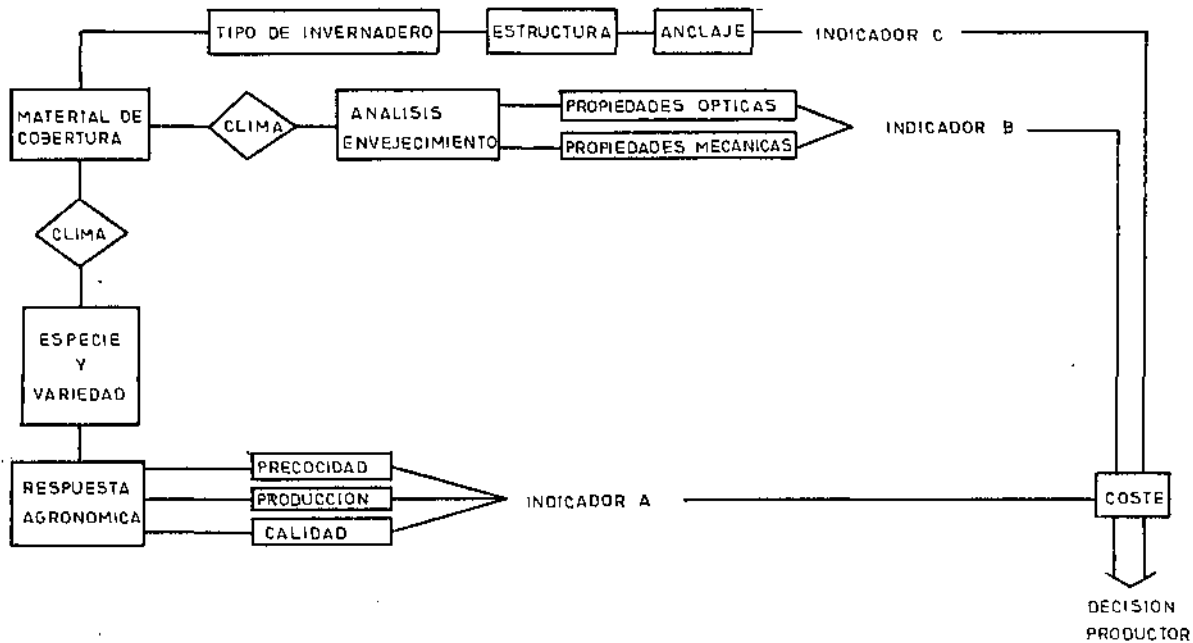


Fig. 4.6. Indicadores para la elección de un material de cobertura (A. Matallana y J. I. Montero, 1988)

A pesar de que por mucho tiempo éste ha sido el único material disponible, hoy en día se le sigue considerando un material excelente por sus propiedades físicas.

Su propiedad más importante es su capacidad de dejarse atravesar por la luz natural (su transparencia al espectro visible es prácticamente total).

Aún considerando las distintas radiaciones que forman el espectro solar, el cristal se comporta de manera que asegura la radiación global necesaria. Es, además, necesario que el flujo luminoso alcance todas las hojas de las plantas sin que éstas se hagan sombra las unas con las otras. Esto se puede lograr impidiendo que la luz sea directa, sino difusa, como se obtiene haciendo pasar la radiación solar a través de un vidrio impreso.

El cristal, desde el punto de vista óptico, tiene por lo tanto dos ventajas: elevada transmisión del espectro visible y no modificar sensiblemente el espectro de emisión solar. Además tiene otra característica: posee un buen "efecto invernadero".

Otra ventaja que tiene el cristal es la de ser un buen aislante térmico y de conservar por mucho tiempo sus propiedades, puesto que es insensible a la irradiación natural, no se altera por efecto de los ácidos y de la humedad y es incombustible.

Se pueden identificar dos tipos de vidrio o cristal:

- Vidrio transparente, como el de las ventanas.
- Vidrio translúcido.

El primero deja pasar algo más de luz que el segundo, aunque éste la difumina y consigue una distribución muy uniforme dentro del invernadero. De numerosas experiencias realizadas no parece deducirse que la utilización de uno u otro tipo tenga una influencia determinante en los cultivos.

Existen asimismo, otros tipos de cristal: cristal impreso, biselado, rallado; su espesor varía de 2 a 6 mm.

En algunos lugares del mundo existen también en el mercado, vidrios especiales para invernaderos (que en muchas ocasiones se habían pensado o diseñado para otros usos, pero que han hallado una posible utilización en los cultivos forzados). Por ejemplo, los cristales "armados", que incorporan una fina malla metálica que reduce muy poco la transparencia y en cambio aumenta considerablemente la resistencia a los impactos; los cristales revestidos por una de las caras de una capa muy fina de óxidos metálicos, que también restan muy poca luminosidad pero en cambio mejoran mucho el efecto invernadero permitiendo una notable economía en los gastos de calefacción; los vidrios dobles, con cámara de aire incorporada, que mejoran asimismo de manera considerable el carácter aislante y disminuyen los gastos de calefacción donde ésta es necesaria.

Un cierto inconveniente del cristal con respecto a la mayor parte de los materiales plásticos estriba en la

mayor dificultad de su puesta en obra. Además, no es posible que adopte otra forma que no sea la plana y por otra parte la operación de cortar las piezas a medida es delicada y puede ser peligrosa para los no especialistas (1) (2) (3) (9).

4.3.2 MATERIALES PLASTICOS

Los plásticos en general, están formados por una mezcla de moléculas de grán tamaño, cuyo peso molecular suele ser muy variado y está comprendido entre 10,000 y 1'000,000 (1) (2) (3) (6) (9).

Con las excepciones de los poliésteres reforzados con fibra de vidrio o de nylon y las espumas de urea-formol, todos los plásticos utilizados, en general, en agricultura son termoplásticos, es decir, pueden reblandecerse a temperaturas más o menos altas. Las dos excepciones indicadas son materiales termoestables y, por tanto, no se reblandecen por la acción de la temperatura; si ésta es demasiado alta, llegan a quemarse como materiales orgánicos que son, pero sin reblandecerse previamente (13).

Otra característica importante, común a todos los plásticos, es su poco peso respecto a materiales tradicionales, tales como el vidrio o los metales, lo que constituye casi siempre una gran ventaja, por su facilidad de manipulación y de transporte y menores exigencias de estructuras.

También se deben tener en cuenta, para evitar sorpresas durante el funcionamiento, todas aquellas características no generalizables a cualquier tipo de plástico como son:

- Alterabilidad en el tiempo de algunas propiedades.
- Posible modificación de alguna de ellas en función de la temperatura (3).

De la extensa familia que forman los plásticos, solo unos pocos se emplean hoy día como cubiertas para invernaderos. Los utilizados hasta ahora son:

a) Láminas rígidas:

- * Poliéster estratificado con fibra de vidrio.
- * Policloruro de vinilo rígido (PVC).
- * Polimetacrilato de metilo (Plexiglás-vidrio acrílico).
- * Policarbonatos.

b) Láminas semi-rígidas:

- * Polietilentereftalato.

c) Láminas flexibles:

- * PVC plastificado (armado o sin armar).
- * Polietileno normal (armado o sin armar).
- * Polietileno de larga duración.
- * Polietileno térmico.
- * Copolímero EVA.

(13).

A continuación se describen los más utilizados para cubiertas de invernaderos.

4.3.2.1 Plásticos Rígidos (Placas).

Entre los plásticos rígidos se pueden distinguir entre:

- Perfiles planos.
- Perfiles especiales, ondulados, trapezoidales (3).

4.3.2.1.1 Poliéster Estratificado con Fibra de Vidrio.
Suelen ser resinas de poliéster reforzadas con fibra de vidrio. Puede presentarse en láminas planas u onduladas. Es sensiblemente menos transparente que el cristal, pero esta característica puede ser mejorada con determinados aditivos en su composición (3).

La propiedad principal del poliéster es la de tener un gran poder de difusión de la luz, creando en el interior del invernadero una iluminación uniforme (1). Como toda materia orgánica, las placas de poliéster se ven afectadas por la radiación ultravioleta que produce en ellas cambios de color. El amarillo primitivo adquiere tonos más fuertes según va pasando el tiempo, que se transforman en tonos tostados, para terminar adquiriendo tonalidad marrón. El viento, arena, lluvia, nieve y granizo, e incluso el polvo, trabajando en conjunto y con la ayuda de la degradación ultravioleta y la oxidación, se combinan para desgastar la superficie de las placas y erosionarlas, dando lugar al "florecimiento" de las

fibras y a su oscurecimiento. ello da lugar a una pérdida de transparencia y a una reducción del poder de difusión de la luz (13).

La erosión producida por los agentes climáticos puede ser corregida mediante la aplicación de una capa de gel o resina endurecida (acrílicamente modificada) sobre la superficie de la placa. Ultimamente se ha desarrollado una técnica consistente en aplicar durante el proceso de fabricación de las placas una película de fluoruro de polivinilo, la cual evita que el granizo y arenas lanzadas por el viento originen picaduras sobre la superficie de dichas placas.

Estos revestimientos retrasan considerablemente la erosión, evitando con ello la aparición o florecimiento de las fibras de nylon, pero no impedirá que los rayos solares produzcan su amarilleamiento.

Las placas de poliéster reforzadas con fibra de vidrio tienen gran interés desde el punto de vista agrícola, por su carácter estructural y rigidez. Son lo suficientemente fuertes para sostener más peso que el acero del mismo espesor y lo suficientemente resistentes para ser serradas, perforadas y clavadas. Son un excelente sustituto del vidrio. Su flexibilidad permite que puedan ser adaptadas a las estructuras curvas a las cuales se sujetan fácilmente por tornillos que las atraviesan.

Las planchas de poliéster son poco transparentes a las radiaciones nocturnas, lo que da lugar a producir un

gran efecto invernadero, superior al que puede conseguirse con cualquier otro material plástico de los que actualmente se utilizan en invernaderos.

Las placas de poliéster son poco transparentes a los rayos ultravioleta, lo cual motiva que las plantas acusen el choque "ultravioleta" cuando se sacan al exterior.

El alto precio de las placas de poliéster y el coste de las estructuras que precisan hacen que su utilización no esté muy generalizada entre los agricultores, quedando reducida su aplicación a cultivos ornamentales y de flor cortada (13).

4.3.2.1.2 Policloruro de Vinilo (Cloruro de Polivinilo).
El policloruro de vinilo es más conocido en el mercado como PVC. Puede ser rígido (placas) o flexible (armado o sin armar). Sus espesores varían entre 0.01 a 0.25 mm (para láminas flexibles) y superiores a 0.25 mm cuando son planchas (13).

En placas rígidas puede presentarse en forma plana u ondulada. En su elaboración admite un gran número de aditivos químicos que mejoran sus cualidades ópticas (1) (3).

La lámina de PVC es muy permeable a las radiaciones solares, pues las deja pasar en un 80-90% y es bastante opaca a la irradiación nocturna del suelo, transmitiendo solo el 28-32%, por lo que el "efecto de abrigo" es

bueno; mejor que el del polietileno normal y muy similar al del copolímero EVA. Estas buenas propiedades le hacen un excelente material plástico para la cobertura de invernaderos (13).

4.3.2.1.3 Polimetacrilato de Metilo. El polimetacrilato de metilo, más conocido por plexiglas (rigido), adopta el nombre de "vidrio acrílico" debido a la elevada pureza óptica y a su gran transparencia a la luz, lo cual le asemeja al cristal.

La resistencia a la rotura es siete veces superior a la del cristal a igualdad de espesores, por lo que resulta notablemente más resistente a golpes. En horticultura esto significa reducción de gastos por rotura y menores costes de mantenimiento en invernaderos. El peso de este plástico resulta la mitad que el del vidrio común, lo cual tiene su importancia en el cálculo de estructuras que, al ser más ligeras, resultan más económicas.

A pesar de esta ligereza, el vidrio acrílico puede soportar una sobrecarga de 70 kg/m^2 , lo cual es importante para aquellas zonas con riesgo de fuertes nevadas.

El coeficiente de conductibilidad térmica del polimetacrilato de metilo es de $0.16 \text{ Kcal/metro-h } ^\circ\text{C}$ comparado con 0.64 del vidrio, lo que impide el enfriamiento nocturno del invernadero.

Existen en el mercado dos tipos de vidrio acrílico, el *incoloro* y el blanco translúcido o *hielo*. En la práctica se suelen instalar simultáneamente ambos en un mismo invernadero, de tal forma que el incoloro se coloca en la cara norte y el blanco en la vertiente y fachada del mediodía, con lo cual se consigue un ligero sombreado sobre los cultivos, dado que el incoloro transmite del 85 al 90% de la radiación solar.

En los últimos años se han empezado a fabricar placas planas "alveolares", o con cámara de aire incorporada, que se usan mucho con prestaciones parecidas, y superiores para algunos factores, al cristal.

Entre las ventajas que ofrece el vidrio acrílico están:

- Resistencia a los agentes atmosféricos.
- Gran transparencia a las radiaciones solares.
- Deja pasar los rayos ultravioleta.
- Gran opacidad a la radiación nocturna del suelo.
- Gran resistencia al impacto (granizo), por lo que apenas existen roturas.
- Facilita el deslizamiento de la nieve y del agua.
- Uso de estructuras más ligeras que las que precisa el vidrio.

(13)

En cuanto a sus inconvenientes, el principal de ellos es su precio elevado, que junto al tipo de estructura requerida hacen que los invernaderos construidos con este

material sean de costos elevados. El metacrilato es fácil de rayar con cualquier instrumento, por lo que habrá que considerar este aspecto como factor negativo (1).

4.3.2.1.4 Policarbonatos. Material de cualidades parecidas al polimetacrilato de metilo. Buena resistencia mecánica, inalterabilidad. Se presenta también en placas alveolares, con cualidades ópticas algo menos buenas que el metacrilato, pero también más económico (2) (3).

Citemos asimismo como material plástico rígido el *Polipropileno* (3).

4.3.2.2 Plásticos Flexibles.

4.3.2.2.1 PVC Flexible (Plastificado). Al contrario que el filme de polietileno, que por naturaleza es flexible, el PVC requiere asociarlo con sustancias plastificantes para obtener láminas flexibles (1). La duración de las láminas de PVC depende fundamentalmente de su plastificación, de tal forma que si ésta es incorrecta se degradarán en seguida por la acción destructora de los rayos ultravioleta y por la extracción del plastificante por el agua (13).

Presenta un gran poder de retención de la radiación infrarroja. Se ha utilizado mucho en invernaderos en Japón, y su tecnología se ha difundido considerablemente. Tiene una fuerte carga de electricidad estática que favorece el depósito de polvo y suciedad. Existen

diversas calidades en función de los aditivos utilizados en el proceso de fabricación. Señalemos también que existen láminas "armadas" reticulares, de PVC, de gran estabilidad y resistencia (3).

El PVC tiene la ventaja sobre el polietileno de que es menos sensible a la oxidación, incluso cuando va plastificado, a condición de haber elegido bien los plastificantes. El envejecimiento del PVC se manifiesta por pérdida de transparencia, aparición del color y por fragilidad mecánica (13).

Los principales inconvenientes que tiene el PVC son:

- Precio más elevado que el polietileno.
- Poca resistencia al rasgado (una vez iniciado éste por perforación), lo que impide pueda ser aplicado en estructuras de bajo coste (invernaderos tipo parral o similares con techumbre de alambre).
- Quebradizo a bajas temperaturas.

(13).

4.3.2.2 Polietileno. El polietileno es el material plástico más utilizado a nivel mundial para la construcción de invernaderos con excepción de Japón, donde, como se señaló, por circunstancias especiales el PVC es el plástico más utilizado (3) (13).

Los tipos de filmes de polietileno que actualmente se están utilizando para la cobertura de invernaderos son:

- Polietileno "normal".
- Polietileno de "larga duración".
- Polietileno "térmico de larga duración".

El filme de polietileno "normal" o polietileno sin tratar, tiene por lo general una duración corta (menos de un año) en climas soleados. La radiación ultravioleta le degrada con facilidad, así como las elevadas temperaturas que se originan en las zonas de contacto del filme con las estructuras férricas del invernadero.

Para evitar dicha degradación se incorporan durante el proceso de fabricación del filme, inhibidores ultravioleta que, al actuar como absorbentes de esta radiación, alargan la vida del material. Por este procedimiento se logra hoy día fabricar filmes de larga duración, que según las zonas agrícolas de aplicación pueden permanecer sin romperse sobre las estructuras de los invernaderos por más tiempo (hasta dos campañas agrícolas). El uso de este filme es muy aconsejable en climas donde la insolación es elevada, superándose en algunos sitios las 3,200 horas anuales de sol y donde se registran unas radiaciones de 145-150 Kcal/cm²/año y vientos frecuentes de más de 100 km/hora.

El polietileno normal tiene una buena transparencia a los rayos ultravioleta, visibles e infrarrojos cortos, por lo que el invernadero se calienta pronto durante el día. Sin embargo durante la noche deja escapar las radiaciones del suelo, lo que origina el enfriamiento del invernadero. Para corregir este defecto, la industria química desarrolló en su día un filme de polietileno con

propiedades térmicas y de larga duración que detiene considerablemente las radiaciones emitidas por el suelo durante la noche, por lo que produce en los invernaderos un gran efecto térmico, equiparable al de otros plásticos como el PVC y copolímeros EVA.

Comparando el filme normal (sin tratar) con el térmico, se observa que mientras el primero de ellos deja pasar por la noche de un 60 a 70% de la irradiación del suelo, el filme térmico es casi opaco pues solo deja escapar un 15-18 por 100. Por otro lado, la difusión de la luz de un polietileno normal es del 10-15%, mientras que la del filme térmico alcanza el 55 por 100. Estos datos son importantes a la hora de elegir uno u otro de estos materiales, pues de ellos dependerá, en gran medida, la precocidad y rendimientos de las cosechas.

Las principales ventajas del filme de polietileno frente a otros materiales plásticos utilizados en la cobertura de invernaderos son:

- Buena adaptabilidad a cualquier tipo de estructura.
- Gran resistencia al rasgado.
- Precio bajo frente al de los demás materiales plásticos.
- Posibilidad de utilización de filmes de anchos variables (hasta de 12 m).
- Buen comportamiento óptico del filme térmico.

La *desventaja* principal del polietileno es que tiene una duración limitada y que deja enfriar el invernadero si dicho polietileno no es térmico.

Las propiedades más importantes del *polietileno térmico* en orden agronómico son:

- a) Gran efecto térmico.
- b) Buena difusión de la luz.
- c) Larga duración.
- d) Excelentes propiedades mecánicas.
- e) Efecto antigoteo.
- f) Reducción de inversiones térmicas.

Este filme térmico, a pesar de tener un precio superior al del filme de polietileno "normal", resulta comparativamente más ventajoso, dado que la precocidad de cosechas logradas con él es superior a los 15 días, dando lugar, por otro lado, a aumentos de producción del orden del 20-25 por 100.

Las inversiones térmicas en los invernaderos cubiertos con este filme se reducen considerablemente en comparación con el polietileno normal. Esta es una propiedad importante para climas donde las temperaturas mínimas rozan los 2°C e incluso bajan de los 0°C (13).

4.3.2.2.3 Copolímeros EVA. Los copolímeros EVA se obtiene por copolimerización de etileno y acetato de vinilo (AV). Según la proporción de este último, que reacciona con etileno, se obtienen diversos tipos de copolímeros con propiedades distintas. Aumentando el contenido en AV se eleva su resistencia al impacto, sin embargo se disminuye su resistencia al rasgado (una vez iniciado éste), propiedad de gran importancia a tener en cuenta dado que

BIENESTAR DE LOS CULTIVOS DE AGRICULTURA

le impide ser aplicado en estructuras de bajo costo, tipo parral o similares, en donde la lámina se sujeta por medio de alambres que perforan la misma (13).

Para invernaderos se deben utilizar aquellos filmes de copolímeros EVA que tengan un 12 a 18% de acetato de vinilo (AV). De acuerdo con este contenido los copolímeros EVA presentan una serie de ventajas sobre los filmes de polietileno y PVC. Respecto al primero de éstos, los EVA son más flexibles y tenaces a bajas temperaturas; son más opacos a la irradiación emitida por la tierra durante la noche, por lo que su "efecto invernadero" es mejor. También son más resistentes al impacto. Sin embargo son menos resistentes al rasgado, una vez que éste ya se ha iniciado, como consecuencia de las perforaciones que hay que hacer en él para sujetarlo con alambres.

En comparación con el PVC, los copolímeros EVA son un excelente material plástico para ser empleados como cubiertas de invernaderos. Tienen un comportamiento mecánico en invernaderos superior al PVC y comportamiento térmico superior al polietileno. La aplicación de filmes de copolímeros EVA en invernaderos es relativamente moderna, dado que hasta finales de 1958 no tuvieron aplicación alguna, por eso hoy día están poco introducidos en este campo. Por otro lado, su precio es algo más elevado que el del polietileno, lo cual también ha influido para frenar su desarrollo (13) (cuadro 4.3).

CUADRO 4.3 Comportamiento termoaislante de distintas láminas de polietileno y copolímero EVA (Robledo F. 1987)*

Espesor de lámina		Transmitancia %			
Micras	Galgas	Copolímero EVA CP-636	Copolímero EVA CP-632	Polietileno Térmico CP-124	Polietileno normal PE-033
40	160	39	45	50	71
60	240	31	38	42	69
80	320	25	31	36	67
100	400	20	26	30	63
120	480	16	22	25	61
140	560	13	19	21	59
160	640	10	16	18	57
180	720	8	13	15	56
200	800	7	11	13	55

* Tomado de A. Matallana y J. I. Montero, 1988.

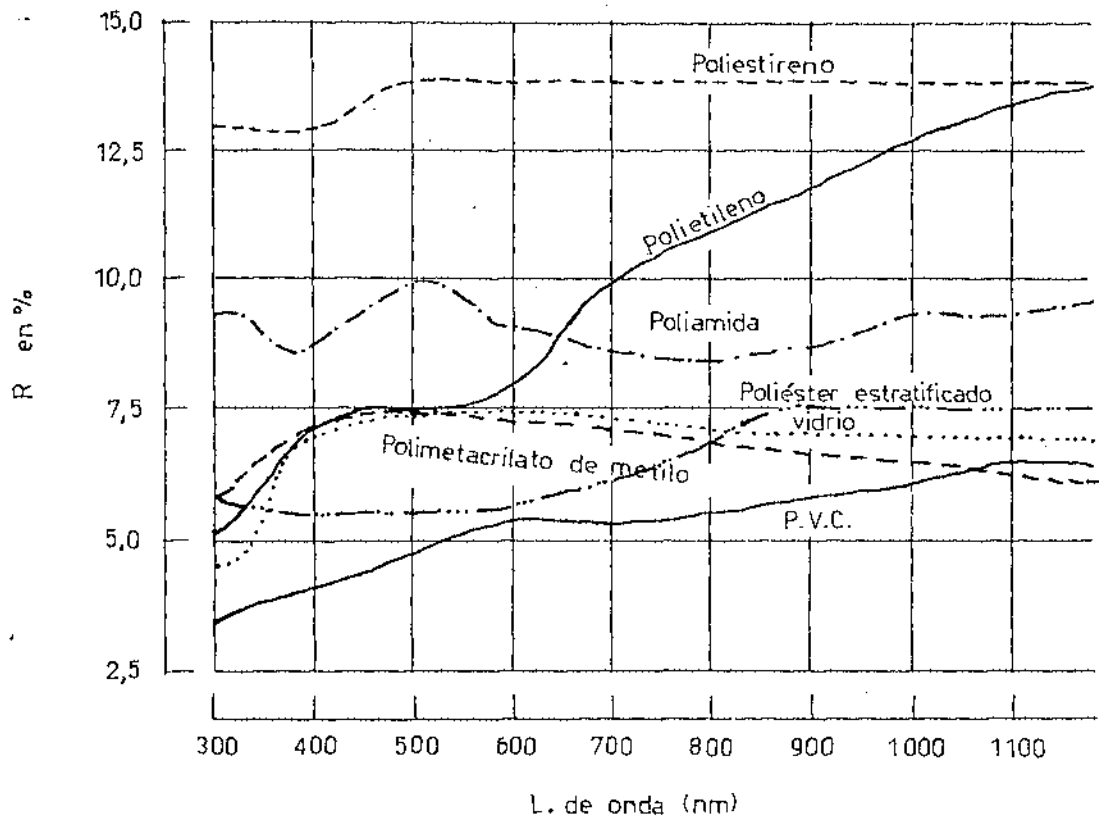


Fig. 4.7. Espectro de reflexão de algunos materiales de cobertura para invernaderos (A. Nisen, 1972). (Tomado de A. Matallana y J. I. Montero, 1988).

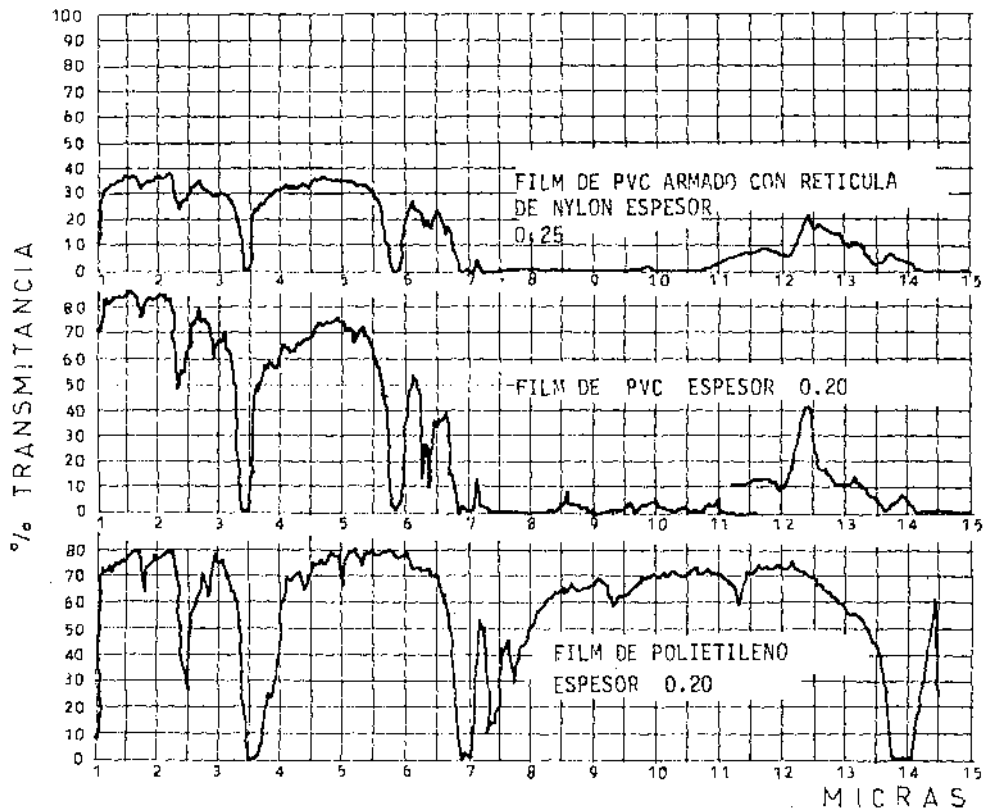


Fig. 4.8 a. Comportamiento de diferentes materiales de cubierta al infrarrojo lejano (Favilli, 1968)
 (Tomado de A. Matallana y J. I. Montero, 1988).

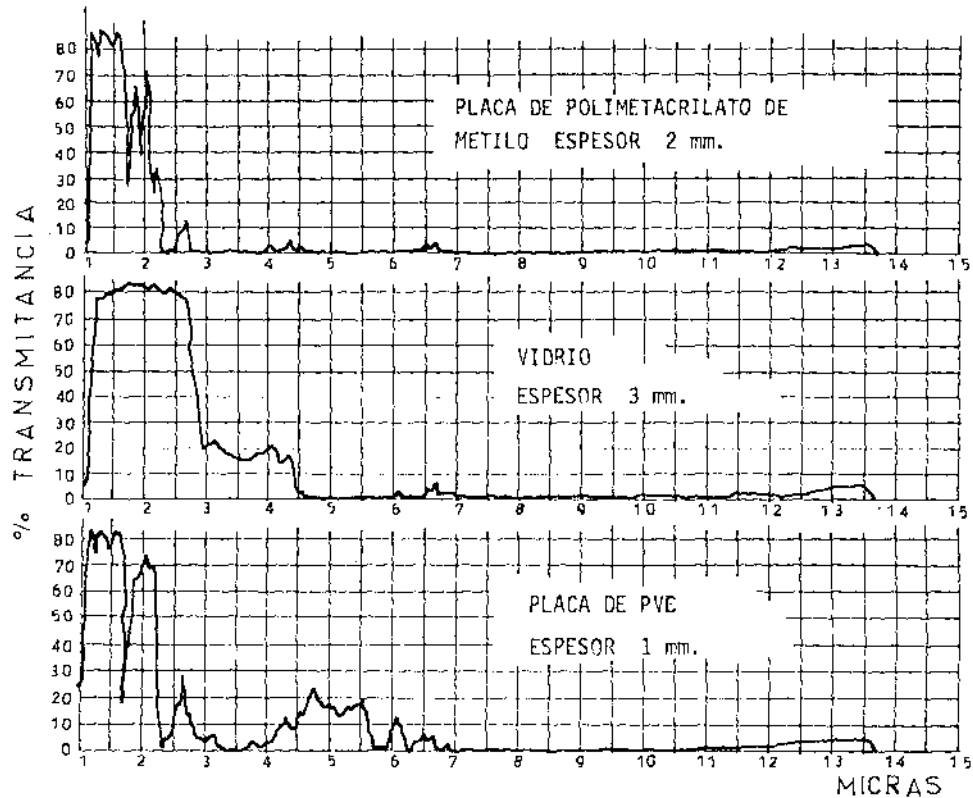


Fig. 4.8 b. Comportamiento de diferentes materiales de cubierta al infrarrojo lejano (Favilli, 1968)
 (Tomado de A. Matallana y J. I. Montero, 1988).

CONCLUSIONES

Los cultivos forzados han adquirido una gran importancia, debido a los beneficios económicos que se alcanzan con ellos.

Existen diversos tipos de instalaciones para realizar el forzado de cultivos, dentro de las cuales, los invernaderos son las más completas y eficientes.

Los invernaderos son instalaciones rentables. En México es posible implementarlos e inclusive, hacer adaptaciones de tipo regional. Además, dada su situación geográfica, no existe problema por falta de iluminación en ninguna época del año.

Dentro de la gama de materiales propuestos para la construcción de las estructuras destaca el acero. México es un importante productor de éste material, por lo que se comercializa a bajo costo comparado con el resto del mundo. Estas dos características lo sitúan como un material muy recomendable para los fines propuestos.

El hormigón es una opción muy viable de utilizarse en zonas costeras por el alto riesgo de vientos huracanados y el desgaste que sufre el acero por la humedad ambiental de esos lugares.

El vidrio es el material más antiguo usado para cobertura de invernaderos. Tiene muy buenas características ópticas. En México, el uso de cristal o vidrio para cubrir invernaderos no es aconsejable por su alto costo y por no existir necesidad, dado el buen clima del país.

El polietileno es un material muy utilizado para cobertura de invernaderos por su versatilidad. Su uso se ha extendido en invernáculos de todo el mundo. A menos que se busquen condiciones de cultivo más específicas, el polietileno cumple satisfactoriamente con su función. Además se cuenta como el material de cobertura más económico del mercado.

Es necesario investigar más acerca de la coloración de las cubiertas y su efecto sobre diferentes etapas de desarrollo de las distintas especies de cultivo.

RESUMEN

Dentro de las posibilidades existentes para rehacer el sector agropecuario mexicano destaca el fomento de producción de cultivos altamente rentables, como son algunas hortalizas y cultivos florícolas. El riesgo que dichos cultivos implican se reduce con el empleo de *invernaderos*.

Los *invernaderos* como sistema de producción, han tomado auge en vista de los beneficios económicos que aportan.

Las *estructuras* y los *materiales de cobertura* son los dos componentes básicos que deben definirse en la construcción de *invernaderos*.

Para poder elegir entre la gama de posibilidades constructivas, como consecuencia de la diversidad de materiales que se encuentran actualmente en el mercado, se deben tomar en cuenta, de manera general, las especies que se quieren cultivar, el clima de la región, el óptimo para las plantas y la necesidad y probabilidad de acondicionamiento.

Dentro de los materiales para la edificación de las estructuras, se encuentran la madera, la cual es el material de uso más antiguo para tal efecto, el hierro (o acero), el hormigón, el aluminio y algunos materiales

plásticos que recientemente se han implementado. Se considera al hierro como el material más adecuado en base a sus características.

El vidrio es el material que se ha usado por más tiempo para cobertura de invernáculos. Cuenta con magnificas propiedades ópticas, aunque requiere de perfiles especiales para su sostenimiento y es relativamente caro.

El desarrollo de la industria plástica ha permitido el abaratamiento de dichas construcciones debido al bajo costo de los materiales que sustituyen al vidrio como material de cobertura y de los materiales plásticos que se pueden usar como estructurales, además del ahorro que se consigue al calcular las estructuras para sostener materiales más ligeros.

Es, precisamente, en base al desarrollo de dicha industria que se han podido desarrollar construcciones tales como los invernaderos hinchables (burbuja), que ya se encuentran en explotaciones a nivel comercial con muy buenos resultados.

Actualmente se cuenta con materiales plásticos que tienen características ópticas muy semejantes a las del vidrio, pero que le aventajan en cuanto a características físicas y mecánicas (por ejemplo, la resistencia). Dentro de la diversidad de éstos, destaca el polietileno por su bajo costo y su gran versatilidad, constituyéndose así como el material más utilizado a nivel mundial para la cobertura de invernaderos.

Recientemente se ha comenzado a investigar acerca del llamado "acondicionamiento cualitativo de la luz", que consiste en el uso de materiales translúcidos de distintos colores sobre diferentes etapas de crecimiento de las plantas, con algunos resultados favorables.

BIBLIOGRAFIA

1. Alpi, A. y Tognoni, F., *Coltivazione in Serra. Terza edizione*, Bologna, Edagricole, 1975 (tr. española de José de la Iglesia González, *Cultivo en Invernadero*, Madrid, Ediciones Mundi-prensa, 2ª ed., 1984, 254 pp.).
2. Ball, G. Vic, *Ball Redbook. Greenhouse Growing*, 1ª ed., Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, Inc., 1933, (14ª ed., 1985) 720 pp.
3. Bernat Juanos, Carlos, Andrés Vitoria, Juan J. & Martínez Ros, José, *Invernaderos-Construcción, Manejo, Rentabilidad*, 1ª ed., Barcelona, Editorial Aedos, 1987, 200 pp.
4. Bidwell, R. G. S., *Plant Physiology*, Macmillan Publishing Co., Inc., 1979 (tr. al español de Guadalupe Gerónimo Cano y Cano y Manuel Rojas Garcidueñas, *Fisiología Vegetal*, México, A. G. T. Editores, 1ª ed., s. f., 784 pp.).
5. Burak, S. A. M., Norton, B. & Probert, S. D., "Air-supported greenhouses", *Applied Energy*, Vol. 26, No. 4, 1987, pp. 245-313.
6. Dayan, E., Enoch, H. Z., Fuchs, M. & Zipori, I., "Suitability of Greenhouse Building Types and Roof Cover Materials for Growth of Export tomatoes in the Besor region of Israel. Effect on fresh and dry matter production", *Biotronics*, No. 15, 1986, pp. 71-79.

7. De León Arias, Adrian, "El Comercio con Estados Unidos y el Occidente de México: los recientes acuerdos sectoriales", *Carta Económica Regional*, Año 2, Número 9, diciembre de 1989, pp. 14-17.
8. García Palacios, Ricardo, "Examen de la Economía de Aguascalientes", *Carta Económica Regional*, Año 2, Número 9, diciembre de 1989, pp. 38-40.
9. Mataliana Glez., Antonio y Montero Camacho, Juan Ignacio, *Invernaderos-Diseño, Construcción y Ambientación*, 1ª ed., Madrid, Ediciones Mundi-prensa, 1988, 159 pp.
10. Moreno Pérez, Ana Rosa, "Producción Agrícola en Jalisco", *Carta Económica Regional*, Año 2, Número 9, diciembre de 1989, pp. 45-47.
11. Raluy Poudevida, Antonio, *Diccionario de la Lengua Española*, 1ª ed., México, Editorial Porrúa, 1969 (2ª ed., 1982), 849 pp.
12. Resh, Howard M., Ph. D., *Hydroponic Food Production*, Sta. Barbara, Ca., Woodbridge Press Publishing Company, 1982 (tr. al español por José Santos Caffarena, *Cultivos Hidropónicos-nuevas técnicas de producción*, Madrid, Ediciones Mundi-prensa, 2ª ed., 1987, 318 pp.).
13. Robledo de Pedro, Félix y Martín Vicente, Luis, *Aplicación de los Plásticos en la Agricultura*, 1ª ed., Madrid, Ediciones Mundi-prensa, 1981 (2ª ed., 1988), 573 pp.

14. Scamoni, F., "Optical Properties of Transparent Plastic Materials used for Covering greenhouses", *Coltore Protette*, Vol. 14, No. 11, 1985, pp. 47-50.
15. Skov, O., "Light transmission in greenhouses", *Acta Horticulturae*, No. 245, 1989, pp. 86-93.
16. Timbia, W. H. y Moon, P. H., *Iluminación de Edificios*, ("Manual del Arquitecto y el Constructor"), 1ª ed., Mexico, UTEHA, 1957 (18ª ed.), 2363 pp.
17. Torres Morán, J. Pablo, Martínez de Briseño, Carmen y Orozco Gálvez, Rodolfo, *Estudio para la Racionalización del Uso de Agroquímicos en la Producción de Maíz en el Estado de Jalisco. Cobertura Estatal*, Zapopan, Instituto para el Desarrollo de Bienes de Capital, Universidad de Guadalajara, 1990.
18. Zabeltitz, C. Von, "Technical Progress in Greenhouse Construction through the use of Plastics", *KTBL-Arbeitspapier*, No. 125, 1987, pp. 11-14.