

# Invernaderos para producción de hortalizas y flores



*Ernesto Romero Fierro*



SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRÁULICOS  
INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES Y AGROPECUARIAS  
CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN DISCIPLINARIA  
RELACIÓN AGUA-SUELO-PLANTA-ATMÓSFERA  
GÓMEZ PALACIO, DGO. MÉXICO

FOLLETO TÉCNICO No. 2

SEPTIEMBRE 1988

**SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS**

Lic. Eduardo Pesqueira Olea  
Secretario

Dr. Manuel Villa Issa  
Subsecretario de Desarrollo y Fomento Agropecuario  
y Forestal

Dr. Fernando González Villarreal  
Subsecretario de Infraestructura Hidráulica

Lic. Carlos Sierra Olivares  
Oficial Mayor

**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES  
Y AGROPECUARIAS**

Dr. Antonio Turrent Fernández  
Vocal Ejecutivo

Dr. Miguel Caballero Deloya  
Vocal Secretario Zona Norte

Dr. Ramón Claverán Alonso  
Vocal Secretario Zona Centro

Dr. Everardo González Padilla  
Vocal Secretario Zona Sur

**CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACION DISCIPLINARIA  
RELACION AGUA SUELO PLANTA ATMOSFERA  
(PRONAPA)**

Dr. Luis Fernando Flores Lui  
Enc. de Despacho

Dr. Angel Lagarda Murrieta  
Subdirector

Ing. Hilario Macías Rodríguez  
Jefe de Operación

**INVERNADERO PARA LA PRODUCCION  
DE  
HORTALIZAS Y FLORES**

**Ernesto ROMERO FIERRO<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Ing. Industrial Químico. Enc. de Laboratorio  
CENID-RASPA-INIFAP-SARH.

\* Se agradece al Ing. M.C. José Antonio Cueto  
Wong, las sugerencias hechas al presente  
trabajo.

**INVERNADEROS PARA LA PRODUCCION  
DE  
HORTALIZAS Y FLORES**

	<b>Pag.</b>
<b>I INTRODUCCION</b>	5
<b>II CONDICIONES QUE DEBEN REUNIR LOS INVERNADEROS.</b>	
- Dimensiones y formas	7
- Orientación	10
- Luminosidad y disposición del conjunto	11
- Resistencia	14
- Ventilación	14
- Estanqueidad y ligereza	15
- Métodos de Riego	15
- Suelo	16
- Disponibilidad de mano de obra	18
<b>III CONSTRUCCION DEL INVERNADERO</b>	
- Materiales estructurales	18
- Cubiertas plásticas	19
- Secuencia de construcción	25
<b>IV CLIMATIZACION</b>	
- Ventilación	35
- Enfriamiento y humidificación	38
- Calefacción	39
- Requerimiento de calefacción	42
- Cálculo de climatización (Ejemplo)	44
<b>V LITERATURA CONSULTADA</b>	50

## I INTRODUCCION

Desarrollar cultivos bajo condiciones de invernadero significa la obtención de cosecha - fuera de la época normal de producción, con muy altos rendimientos (hasta un 300% más que en cultivos desarrollados a la intemperie) y excelente calidad, como resultado de la protección que se ejerce contra ciertos agentes climáticos (sequía heladas, viento, granizo, lluvia, radiación excesiva, entre otros) que afectan los rendimientos y la calidad de los productos.

La producción en invernaderos ofrece un gran atractivo, sobre todo en aquellos cultivos destinados preferentemente a los mercados internacionales que exigen calidad y pagan precios más elevados.

El cultivar en invernadero representa las siguientes ventajas:

- Programación de cosechas de acuerdo a la demanda y precio del producto.
- Precocidad en el ciclo del cultivo, lo que hace posible el logro de hasta tres cosechas por año.
- Aumento del rendimiento hasta en un 300%
- Mayor calidad de frutos, ya que éstos -- son más uniformes, sanos y no contaminados.

- Ahorro de agua (se puede llegar a recuperar de 60 a 80% del agua aplicada que se evapotranspira).

Todas las ventajas que proporcionan los invernaderos, hay que saberlas explotar al máximo para sacar el mayor beneficio posible. Esto solamente lo logrará el productor, si al poner en desarrollo la explotación toma en cuenta los principios que son fundamentales en este tipo de producción, tales como:

- Empleo de semillas mejoradas y variedades selectas para cultivarse en invernadero.
- Control del medio ambiente (temperatura y humedad).
- Técnicas de cultivo adecuadas (riegos, fertilización, siembra, control de plagas y enfermedades, etc.)
- Uso de suelo o medio de cultivo apropiado.

## **II CONDICIONES QUE DEBEN REUNIR LOS INVERNADEROS**

Para toda explotación en invernadero, es muy importante tener en cuenta la localización del terreno donde se construirá, para lo cual se requiere analizar los datos de la climatología (temperatura máxima y mínima, humedad relativa, horas luz, velocidad y dirección del viento, - -

nieve o granizo, entre otros), topografía del terreno y servicios con los que cuenta el sitio, debiéndose considerar los siguientes puntos:

- a) Que en explotaciones a nivel comercial, las condiciones climatológicas de la zona, sean lo más aproximado posible a las requeridas por los cultivos que se desea producir, ya que en la medida en que se desvían las condiciones exteriores respecto a las requeridas en el interior del invernadero, se incrementarán los costos de climatización.
- b) Que la superficie esté lo más nivelada posible, es decir, no accidentada y fácil de drenar, ya que cualquier movimiento del suelo se refleja en los costos.
- c) Que las vías de comunicación sean adecuadas tanto para un fácil aprovisionamiento de los materiales, como para sacar los productos al mercado.
- d) Además deberá contar con servicio continuo de energía eléctrica y agua de riego.

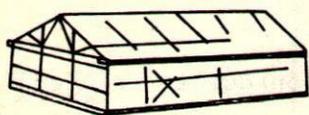
#### **Dimensiones y Formas.**

Las dimensiones y formas de los invernaderos están condicionadas fundamentalmente por la

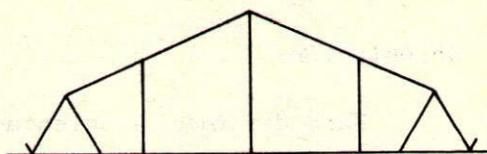
climatología de la zona y el cultivo a establecer. No existe una medida ideal que deba respetarse al construir los mismos; sin embargo, tomando como base las características de los materiales empleados (tubería, madera y polietileno), en general se considera como anchura ideal, la de múltiplos de tres metros. En cuanto a la longitud, se pueden construir hasta de 60 metros; cabe mencionar que en cuanto más largos y anchos son los invernaderos, más se complica el control de los factores climáticos como son: temperatura y humedad relativa.

La altura del invernadero deberá ser aquella que permita aprovechar al máximo el desarrollo de las plantas. Por ello es conveniente una altura mínima en los laterales de 2.5 metros y de tres a cuatro en la parte central (cumbre).

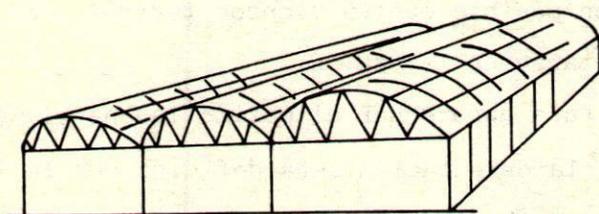
Cuanto más alto es el invernadero, mayor resistencia ofrece a la fuerza del viento, por esta razón en las regiones donde es muy fuerte se deben construir invernaderos con techumbre de poca pendiente (5%) y menor altura (3 m). Sin embargo, en las regiones lluviosas y de nieve, las techumbres deberán ser más altas para desalojar convenientemente el agua, la nieve o el granizo. En la fig. 1 se presentan varios tipos de invernaderos.



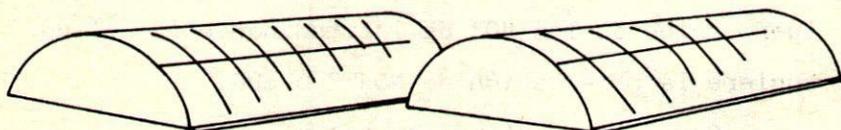
CAPILLA



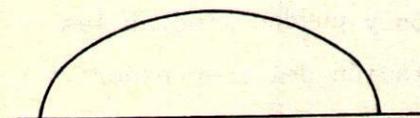
PARRAL (Vid)



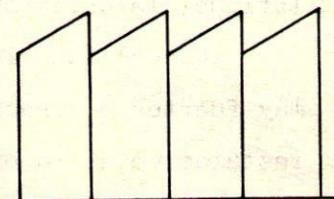
SEMI-CILINDRICO  
O QUONSET



SEMI-CIRCULAR



ELIPTICO O ASA  
DE CESTA



DIENTE DE  
SIERRA

Figura 1. Tipos de invernaderos

Con base en lo anterior es recomendable construir varios invernaderos de pequeñas y medianas-dimensiones, en lugar de uno solo que cubra una gran superficie.

### **Orientación.**

Para definir la orientación del invernadero deberá buscarse el aprovechamiento máximo de luminosidad y radiación solar, así como la máxima protección posible contra vientos fuertes que pueda presentarse en la región.

Para aprovechar al máximo la energía y luz solar, la orientación será definida por la latitud en que se localice; de esta forma se tiene que -- para invernaderos sencillos y aislados que se si-túen arriba de los 40° de latitud norte (L.N.) se sugiere la orientación de NORTE a SUR.

Cuando se pretende instalar grupos de inver-naderos constituyendo un sólo módulo en cualquier latitud, la orientación NORTE-SUR es la indicada.

Cuando los vientos dominantes llegan a ser muy fuertes o huracanados y pueden afectar las instalaciones, la orientación del invernadero nunca deberá ser en dirección perpendicular a los -- vientos, es decir, que la instalación frene el -- viento lo menos posible. Esto se consigue al si-tuar los lados mas cortos al frente o formando --

esquina a la dirección de los vientos.

En lo referente a la orientación de las -- siembras o plantaciones en el interior del invernadero, deberá hacerse de tal manera que unas plantas no den sombra a las otras.

En la Fig.2 se presentan los dos tipos de -- orientación que se puede dar a los invernaderos.

### **Luminosidad y Disposición del Conjunto**

La luminosidad interior que puede tener un invernadero depende de la orientación del mismo y del tipo de techumbre.

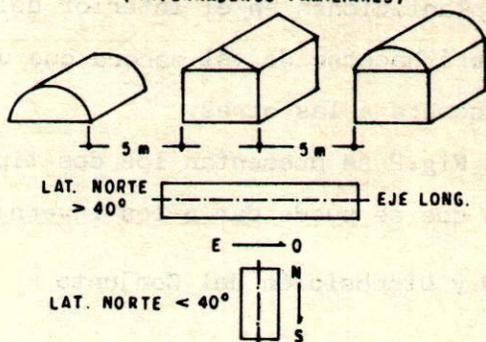
Generalmente los invernaderos con techados desiguales registran durante los meses de invierno una iluminación interior superior a los construídos con techos iguales o simétricos.

Los invernaderos con techos curvos (circulares y elípticos, entre otros) logran captar -- una mayor iluminación y radiación, además de desalojar muy bien el agua de lluvia y ofrecer poca resistencia al viento.

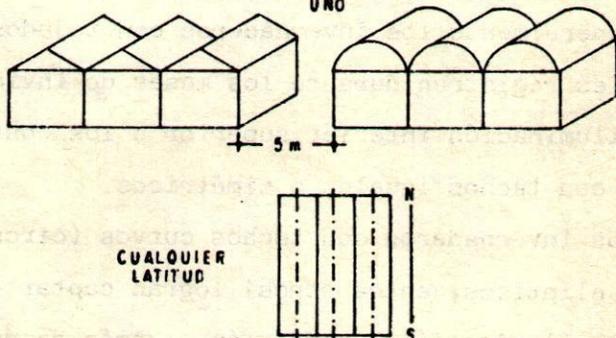
En la Fig. 3, se presentan las formas y -- orientación de diversas techumbres con sus respectivas ventajas y limitantes. En la disposición de un conjunto de invernaderos se debe tomar en cuenta la proyección de sombra que pueda provocar uno sobre el otro. Una distancia mínima de

(POR LUMINOSIDAD)

( INVERNADEROS FAMILIARES )



INVERNADEROS EN GRUPO FORMANDO UNO



( POR VIENTOS DOMINANTES )

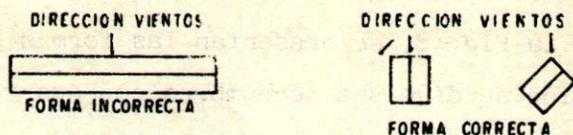


Figura 2. Orientación y disposición de invernaderos.

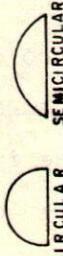
	VENTAJAS	INCONVENIENTES
	<ul style="list-style-type: none"> <li>— BUENA ILUMINACION INTERIOR.</li> <li>— FACIL ESCORRENTIA DE LA LLUVIA Y NIEVE.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— ADOBIERE DEMASIADA ALTURA EN RELACION CON LA ANCHURA.</li> <li>— OFRECE GRAN RESISTENCIA AL VIENTO.</li> <li>— ELEVADO COSTO.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>— POCA ACCION DEL VIENTO.</li> <li>— FACIL ESCORRENTIA DEL AGUA.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— MENOR ILUMINACION INTERIOR.</li> <li>— EVACUA CON DIFICULTAD LA NIEVE CUANDO EL ANGULO DE INCLINACION ES MENOR DE 25°.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>— INTENSA ILUMINACION INTERIOR.</li> <li>— POCA ACCION DEL VIENTO.</li> <li>— FACIL ESCORRENTIA DEL AGUA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— EMPLEO DE ESTRUCTURAS DE HIERRO.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>— MUCHA LUZ DIRECTA.</li> <li>— MUY POCA ACCION DEL VIENTO.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— LA LLUVIA Y LA NIEVE ARRUIAN LAS INSTALACIONES.</li> </ul>

Figura 3. Forma y orientación de la techumbre

tres metros entre cuerpos constructivos se considera adecuada para evitar la proyección de sombra o de traslape de áreas de extracción y/o inyección de aire.

### **Resistencia.**

La resistencia del invernadero es uno de -- los factores más importantes, es necesario buscar un equilibrio entre la resistencia del invernadero y su costo de construcción. Una manera de obtener mayor resistencia en la instalación es seleccionando adecuadamente el emplazamiento de ésta sobre el terreno, orientándola bien respecto a los vientos dominantes o protegiéndola de ellos con barreras rompe-vientos.

El invernadero deberá ser hermético al agua de lluvia y resistente al peso de la nieve y a la acción destructora del granizo.

### **Ventilación.**

El invernadero debe contar con un sistema de ventilación (natural o forzada) adecuado para los cultivos que se implanten, y evitar así enfermedades fungosas por excesos de humedad relativa.

La ventilación se puede ubicar tanto en los laterales como en la cumbre o techo (ventilación cenital), con esto se logra que el agua condensada

en el plástico se evapore rápidamente. En invernaderos de grandes dimensiones es importante dotarlos tanto de ventilación cenital (superior) como lateral.

### **Estanqueidad y Ligereza.**

La estanqueidad (cierre hermético) y la ligereza son dos condiciones importantes que debe reunir todo invernadero. Cuanto mayor sea la estanqueidad, menores serán las pérdidas de calor y más protegidas estarán las plantas de las bajas temperaturas. En relación a la ligereza, se ha observado que las estructuras pesadas proyectan sombras sobre el cultivo, lo que retrasa su fructificación y precocidad, mermando los beneficios. En cambio, al utilizar armazones ligeras se cuida la luminosidad de las plantas a la par que se abaratan los costos.

### **Métodos de Riego.**

Los métodos de riego que más se utilizan (además del tradicional por superficie), son el riego por goteo, microaspersión y subirrigación. Bajo este sistema de producción, la aplicación de los riegos es más frecuente que en cultivos a la intemperie, sin embargo, se utilizan volúmenes de agua más reducidos por existir menor evaporación.

Considerando lo anterior, es necesario situar lo más cerca del invernadero la fuente de abastecimiento de agua y cuidar que su capacidad sea suficiente para cubrir las necesidades del cultivo.

### **Suelo.**

Es conveniente que el terreno que se seleccione para construir el invernadero esté perfectamente nivelado para lograr un riego adecuado y temperatura uniforme del suelo.

Instalar un invernadero en un suelo inadecuado, es como "poner oro en bolsa rota", ya que uno de los factores más importantes a considerar en el proceso productivo es el suelo. Conviene que la tierra sea fértil, de preferencia con textura ligera, libre de piedras, malas hierbas, plagas y enfermedades.

En caso de que el suelo no sea el adecuado, conviene excavar y reponer con material de buena calidad procedente de otro lugar. Cuando es de mala calidad, tenga drenaje deficiente y/o manto freático elevado; al realizar la excavación para reponer el suelo, se recomienda impermeabilizar o recubrir con plástico la excavación, con la finalidad de evitar las aportaciones de sales y humedad excesiva por manto freático elevado, y a la -

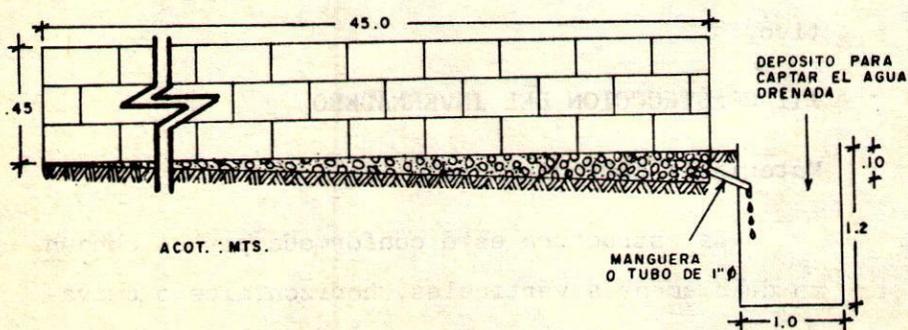
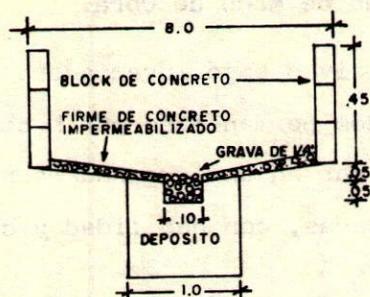


Figura 4. Sistema de drenaje para invernadero semicircular de 45 x 8 x 4 m.

vez contar con un buen sistema de drenaje. En la Fig. 4 se presenta un plano de un sistema de drenaje para un invernadero semicircular.

### **Disponibilidad de Mano de Obra.**

Los cultivos bajo invernadero requieren de 6 a 8 empleados permanentes por hectárea. Las labores a realizar en un invernadero requieren personas capacitadas, con habilidad y que sean observadoras.

El cultivo en invernadero es intensivo, requiere decisiones meditadas, no admite prisas ni trabajos atropellados; necesita múltiples cuidados y buena observación en el desarrollo del cultivo.

## **III CONSTRUCCION DEL INVERNADERO**

### **Materiales Estructurales.**

La estructura está conformada por el conjunto de elementos verticales, horizontales o curvados que son los que le otorgan la forma y la resistencia al invernadero.

La función de la estructura es soportar las cargas y esfuerzos provocados por los materiales de cubierta, aparatos o mecanismos de climatización o de riego, el viento, la nieve y el granizo.

Además deben soportar en muchos casos el peso de las plantas y frutos ( $14-16 \text{ kg/m}^2$ ) cuando se realiza el entutorado de plantas para lograr un aprovechamiento máximo de la superficie y del cultivo.

Los materiales comunmente utilizados son la madera y el fierro.

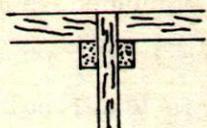
Para el primer caso, se eligen maderas resinosas y se les dá un tratamiento de protección a base de impregnación con kerosen, diesel, creosota o pentaclorofenol en la parte que habrá de enterrarse, y en las que van al aire libre pueden protegerse con pinturas plásticas para exteriores con resultados satisfactorios.

El fierro es el material más empleado en la construcción de estructuras para invernadero, por la diversidad de elementos y secciones que se localizan en el mercado, tales como: Tubería negra o galvanizada, Monten y PTR, entre otros, además son de sección esbelta y alta resistencia.

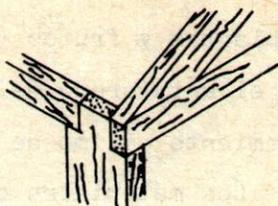
En las Figuras 5 y 6 se presentan algunos tipos de ensambles para madera y tubería metálica respectivamente.

### **Cubiertas Plásticas.**

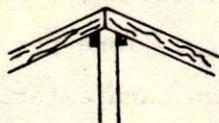
Para la selección de cubiertas deberá considerarse la climatología de la zona, así como las especificaciones del material, ya que estos - -



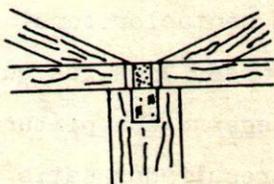
A TOPE



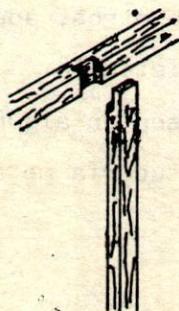
A TOPE CON ESPIGA



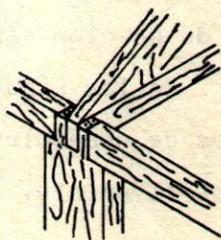
INGLETE



TOPE CON ESPIGA

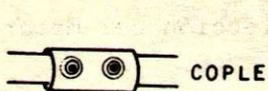


SOLAPA MEDIA

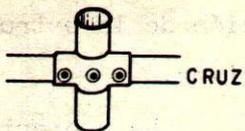


TOPE CON ESPIGA

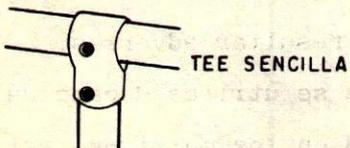
Figura 5. Ensamblajes para estructura de madera.



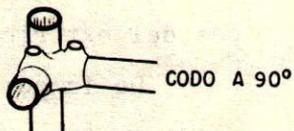
COUPLE



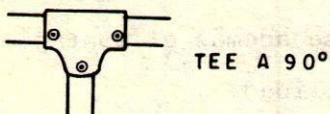
CRUZ



TEE SENCILLA



CODO A 90°



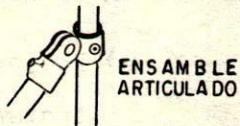
TEE A 90°



ABRAZADERA  
EN CRUZ



TEE CRUZADA



ENSAMBLE  
ARTICULADO

Figura 6. Ensamblajes para estructura tubular

factores en algunos casos condicionan la modulación de la estructura y la elección del material mismo.

La cubierta tiene como objetivo conservar en el interior del invernadero, el clima que permita el crecimiento y desarrollo de los cultivos en épocas en las que las condiciones climatológicas del exterior pueden resultar adversas.

De la cubierta que se utilice dependerán el rendimiento y precocidad en los cultivos, así -- como el costo del invernadero. Entre menor sea el peso del material de cubierta, la estructura podrá ser más ligera y en consecuencia es factible abatir el costo, lográndose además el montaje de la cubierta con mayor facilidad.

Existen muchos tipos de plásticos, pero solo algunos se utilizan en la actualidad como cubiertas para invernaderos. Los más comunes hasta ahora en el país son:

- a) Polietileno "normal" o polietileno sin tratar. Es el material de cubierta más barato, pero con un período de vida más corto (4 a 6 meses), ya que difunde los rayos infrarrojos, pero es destruído -- rápidamente por la radiación ultravioleta. También es afectado por las elevadas

temperaturas que se originan en las zonas de contacto de la película con las estructuras (fierro, aluminio) del invernadero.

- b) Polietileno de "larga duración". En el mercado nacional se conoce como plástico PF-602 cuya duración mínima es de un año. En los mercados internacionales (E.U.A.) se tiene el plástico Monsanto con dos variantes, el 602 y el 603 con un período de duración de dos a tres años.

En climas fríos, con el fin de obtener un efecto más térmico, evitar condensación y tener menores costos de calefacción (hasta un 30%) se puede instalar una doble capa de polietileno formando un colchón de aire de cinco centímetros de espesor.

- c) Policloruro de vinilo plastificado (PVC)  
Este material es más conocido en el mercado como "PVC", puede ser rígido o flexible, su duración depende fundamentalmente de su plastificación, de tal manera que si ésta no es adecuada se degrada muy rápidamente por la acción destructora de los rayos ultravioleta y por la extracción del plastificante por el agua.

El envejecimiento del PVC se manifiesta por la pérdida de transparencia, aparición de un color amarillento y fragilidad mecánica.

Una de las ventajas de las láminas flexibles, ya sea polietileno o PVC, es la versatilidad con que se pueden adaptar a los diferentes tipos de estructuras.

d) Acrílico reforzado con fibra de vidrio.

A diferencia de los anteriores, esta cubierta es rígida, siendo su propiedad principal la de tener un gran poder de difusión de la luz, creando en el interior del invernadero una iluminación -- uniforme.

Es el material de cubierta más costoso, aunque con un período de vida útil mayor que cualquier otro (15 o 20 años).

En la actualidad en el país se fabrica lámina acrílica con refuerzo de fibra de vidrio de muy buena calidad, ya que la acción de la luz solar no altera su transparencia ni su color. Para cubierta de este tipo, se utilizan dos colores, el 200 cristal y el 202 blanco lechoso, el primero de ellos con una transmisión de luz del 75 al 85% y el segundo del 65 al 75%. El uso de cada uno de ellos estará en función de la luminosidad

de la región. El color 202 blanco, se utiliza de preferencia en aquellas zonas que cuentan con muy alta luminosidad como son las áridas y semiáridas del país. El color 200 cristal se utiliza en las áreas que tienen menos luminosidad.

Se considera el material ideal aquel que -- cumpla con los siguientes requisitos:

- Gran efecto de invernadero
- Gran retención de calor
- Gran rendimiento térmico
- Buena transparencia a la radiación solar
- Buena opacidad a las radiaciones de onda larga emitidas por el suelo durante la noche.
- Bajo costo.

Como se puede observar, ninguno de los materiales antes citados logra reunir todos los requisitos para ser considerado el material de cubierta ideal, de ahí que se tenga que decidir en última instancia, en base a posibilidades económicas, a las sugerencias del que proyecta y al material que se localice en la región.

### **Secuencia de Construcción.**

Una vez seleccionado el terreno con las características descritas anteriormente, se sugiere

seguir las siguientes etapas:

**a) Trazo de construcción.**

Si como tierra de cultivo se utiliza el -- suelo que tiene seleccionado, entonces se señalan las dimensiones largo-ancho que -- tendrá el invernadero y se marcan los pun-- tos (2 a 3 m entre puntos) sobre los cua-- les quedarán los pilares (polines o ancla-- jes) que conforman la estructura del in-- vernadero; posteriormente se hacen excava-- ciones en los puntos marcados, tomando -- como base el tipo de cimentación que se -- vaya a utilizar.

**b) Cimentación.**

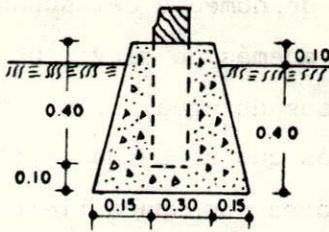
La cimentación en la construcción de to-- do tipo de invernaderos es muy sencilla, ya que se requiere únicamente de peque-- ños muertos o zapatas aisladas para cada uno de los postes. Se utiliza concreto simple o ciclopeo y sólo en el caso de terrenos con capacidad de carga muy baja o fangosos, se analiza la posibilidad de emplear zapatas con mayor base de susten-- tación. Si se quiere reforzar la cimenta-- ción se unen todas las zapatas por medio de una dala de concreto en todo el perí--

metro del invernadero. En zonas de alta precipitación pluvial y manto freático - elevado es conveniente construir un firme de concreto (Figura 4), el cual impedirá el aporte excesivo de humedad del subsuelo a los cultivos, además de servir para desalojar los excesos de agua. Los diversos tipos de zapatas que se pueden utilizar, tanto para madera como para fierro, se presentan en la Figura 7.

### c) Armado de la Estructura

El armado de la estructura se desarrolla a partir de que se realiza la cimentación sobre todo cuando se utiliza madera (fijación de polines) en la construcción de la estructura. Conviene que quede sujeta de tal manera que no tenga movimiento; pero que en un momento dado pueda desarmarse - cuando se requiera; esto se realiza más fácilmente en las estructuras que son de fierro, ya sean tubulares o de perfiles (PTR, MONTEN). En las figuras 8 y 9 se pueden observar detalles de construcción para un invernadero con estructura tubular galvanizada del tipo semicircular y - otro con estructura de madera con caída -

### MADERA



### FIERRO

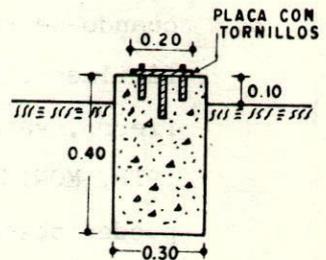
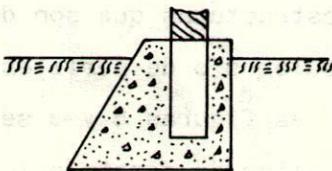
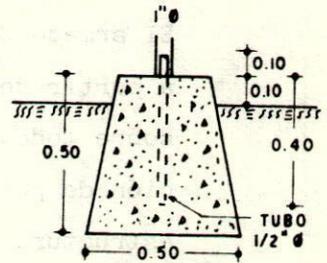
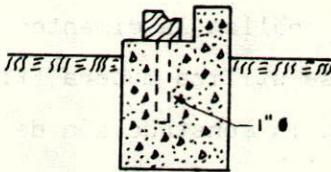
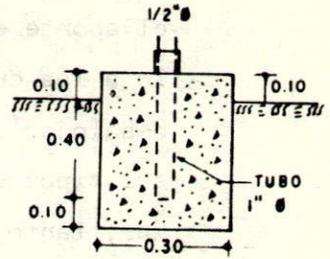


Figura 7. Tipos de zapatas para cimentación

de dos aguas.

**d) Colocación de la Cubierta**

Una vez armada la estructura del invernadero, se cubre con el material seleccionado (polietileno, PVC o acrílico reforzado). Para la colocación del plástico, hay que tomar en cuenta las dimensiones de las áreas a cubrir y no realizar cortes innecesarios que provoquen desperdicios de material. Los plásticos flexibles se pueden cortar estando enrollados en la bobina, lo que facilita el corte recto de los mismos. Esto se puede lograr con una segueta de las utilizadas para cortar metal. El plástico rígido (acrílico), normalmente se puede solicitar sobre medida.

Actualmente en el país se está fabricando polietileno especial para invernaderos, así como lámina acrílica con refuerzo de fibra de vidrio.

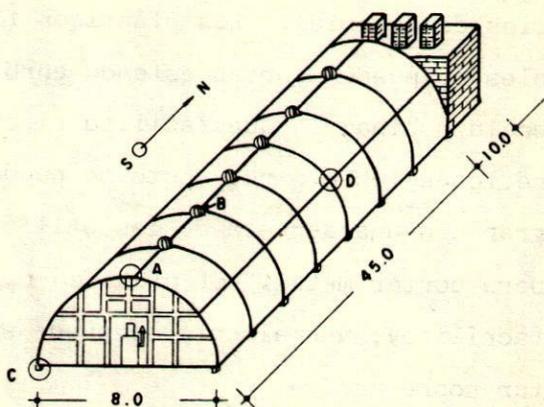
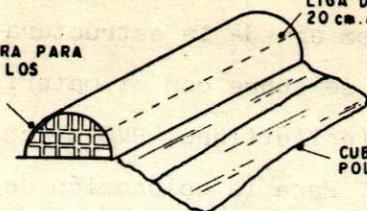
La colocación de la cubierta se inicia del techo hacia abajo, aprovechando al máximo el material, después se continúa con los laterales y los frontales. Los equipos de climatización -- (extractores y calefactores entre otros), se colocan después de haber sido instalada la cubierta.

**FIJACION DEL PLASTICO**

BASTIDOR DE MADERA PARA FIJAR PLASTICO EN LOS FRONTALES.

LIGA DE POLIDUCTO DE 20 cm. A CADA 20 cm.

CUBIERTA DE POLIETILENO



**PROYECCION**

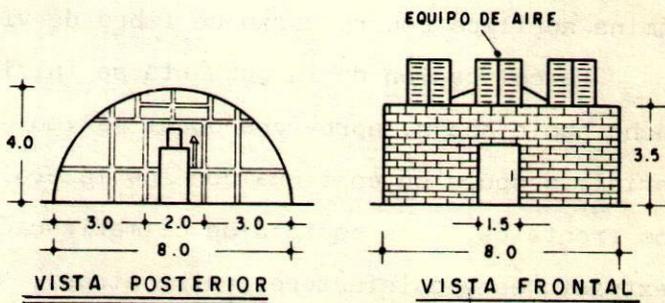
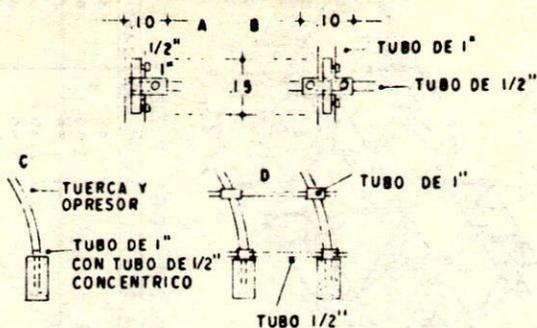
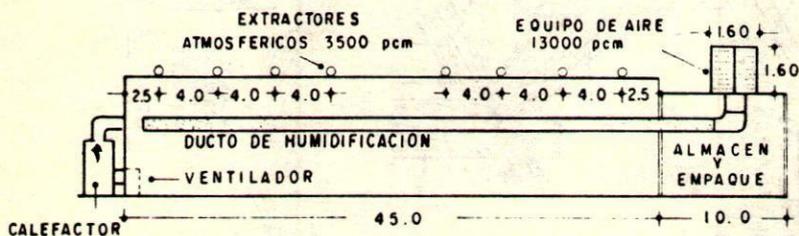
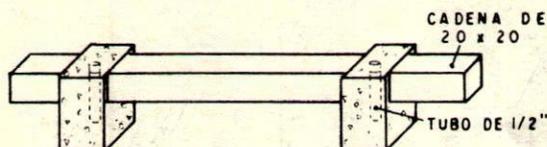
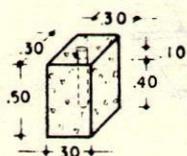


Figura 8. Detalles de construcción para un invernadero tubular.

## ENSAMBLES



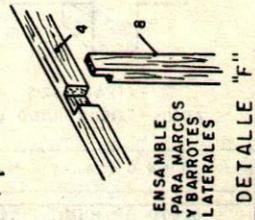
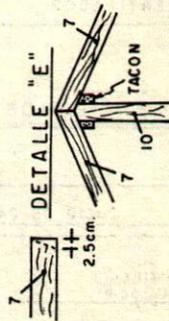
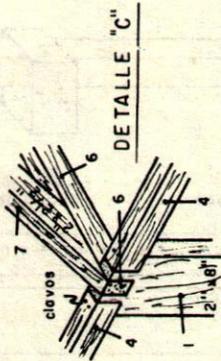
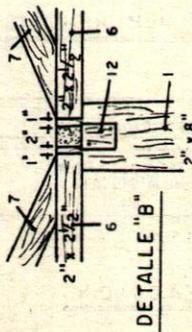
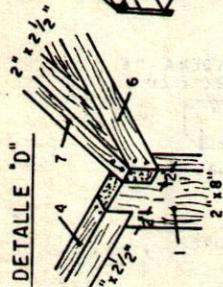
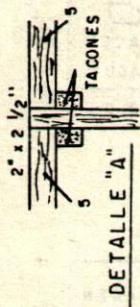
## CIMENTACION



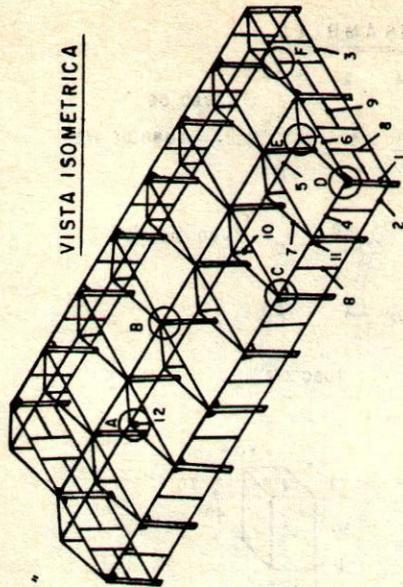
## VENTILACION Y HUMIDIFICACION



## CALEFACCION



VISTA ISOMETRICA



RELACION DE PIEZAS

Nº	PIEZAS	LONG. (m)	CANTIDAD
1	POLINES	2.45	24
2	ARRASTRE LATERAL	3.00	14
3	ARRASTRE FRONTAL	4.55	4
4	LARGUEROS LATERALES	2.89	21
5	CABALLETE	2.99	14
6	TRAVESAÑO CABESTRILLA	4.50	16
7	TRAMOS CABESTRILLA	2.46	24
8	MARCOS Y BARROTES LATERALES	2.00	22
9	TRAVESAÑO FRONTAL	1.75	8
10	SOPORTE CABESTRILLA	0.95	16
11	ESCUADRA 45°	0.45	80
12	TACONES	0.10	42

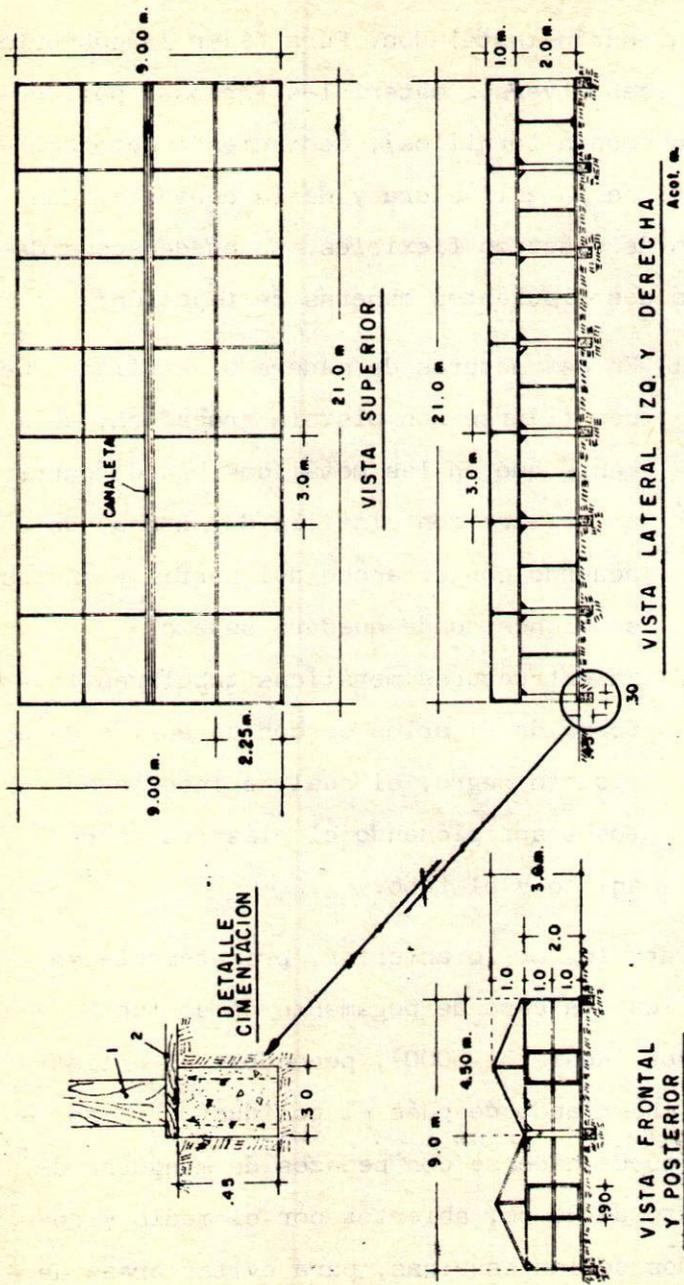


Figura 9. Detalles de construcción para un invernadero con estructura de madera.

Esto se realiza haciendo los cortes en el lugar donde quedarán instalados. Para fijar la cubierta se utilizan diversos materiales (grapas, poliductos, ganchos o tornillos), dependiendo ésto del material de la estructura y de la cubierta. Con láminas de plástico flexibles, se pueden considerar las dos siguientes maneras de fijación:

- 1) En estructuras de madera o metálicas pueden fijarse con pistola grapadora; solamente que en las metálicas han de cubrirse primero con cintilla de madera de acuerdo con el ancho del perfil y en las secciones donde quedará sujeto.
- 2) En estructuras metálicas tubulares la forma de fijarlos es con un anillo de poliducto negro, el cual se inserta en los tubos aprisionando el plástico entre el anillo y el tubo.

Para lograr lo anterior, primeramente se les aplica una capa de pegamento de contacto a los tubos (Resistol 5000), pegándose el polietileno e insertando después el poliducto. Esto último puede hacerse con pedazos de manguera de poliducto de 20 cm, abiertos por el medio y redondeados de las esquinas, para evitar áreas de corte en la cubierta.

Las dos maneras de sujetar el plástico flexible, se presentan en la Figura 10.

#### **IV CLIMATIZACION**

La humedad y la temperatura son factores -- primordiales para el desarrollo de los cultivos bajo condiciones de invernadero. Cada cultivo exige una humedad y una temperatura óptima, fuera de las cuales no logra desarrollar adecuadamente; de ahí la necesidad de controlar y acondicionar -- el clima, lo que puede hacerse en forma natural o forzada, dependiendo ésto del cultivo a desarro-- llar y de la climatología del lugar. Entre más -- extremoso sea el clima y se aleje de las necesida-- des del cultivo, será necesario utilizar equipos para climatizar el invernadero, a la vez que se requerirá realizar los cálculos necesarios para determinar la capacidad de los equipos de ventila-- ción, humidificación y/o calefacción.

#### **Ventilación**

Por medio de la ventilación puede controlar se parcialmente la temperatura y la humedad relativa; esto se logra de dos maneras:

##### **a) Ventilación forzada.**

Esta se realiza por medio de equipos -- extractores, para lo cual es necesario

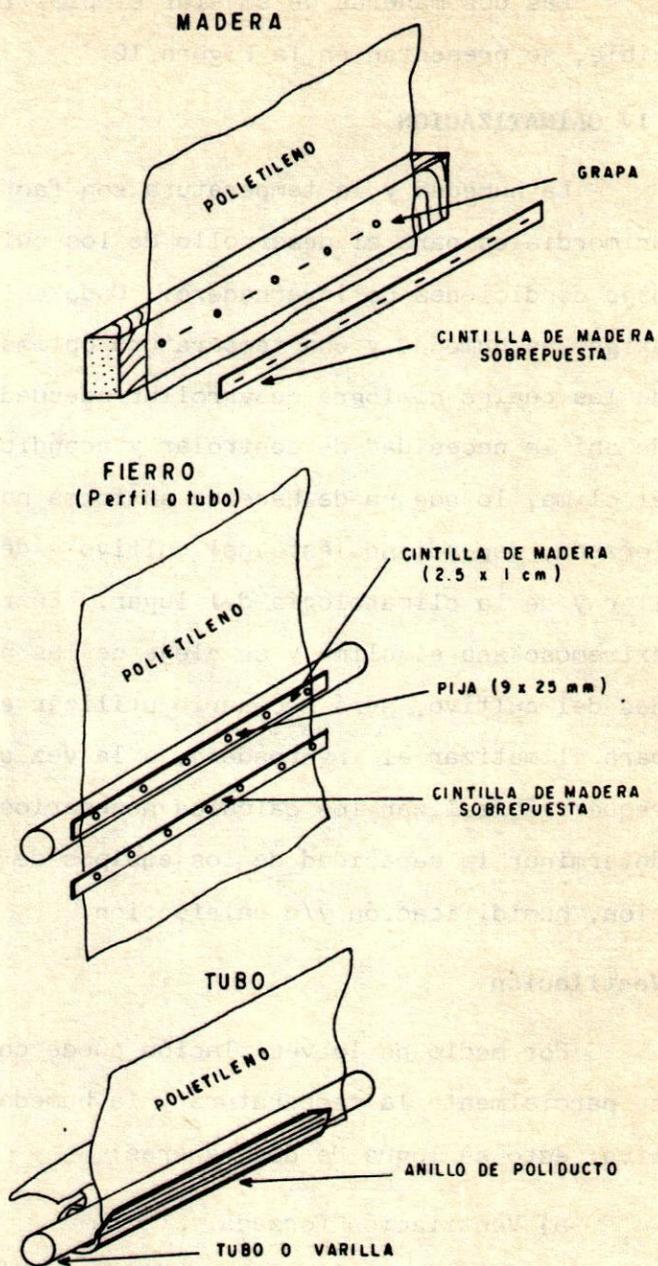
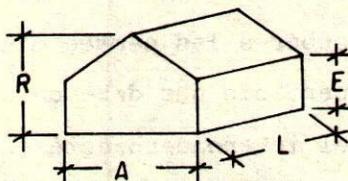
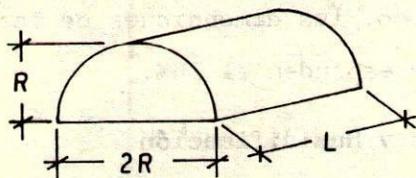


Figura 10. Fijación del plástico

conocer el volumen de invernadero y la frecuencia con la que se pretende renovar el aire. Por ejemplo para invernaderos con caída de dos aguas y semicirculares, el cálculo es de la siguiente manera:



Donde:  $V = \frac{E + R}{2} AL$



Donde:  $V = \frac{R^2 L}{2}$

Figura 11. Cálculo de Ventilación

Con base en los volúmenes calculados se determina el número de equipos extractores para dar la ventilación requerida.

#### **b) Ventilación natural**

Este tipo de ventilación se basa en la propiedad física de que el aire caliente pesa menos que el frío, y por lo tanto flotará sobre éste, es decir, que tenderá a subir a las partes más altas.

La superficie que debe darse a la ventanas del invernadero está en función de las dimensiones del mismo. Si se colocan ventanas laterales y en el techo, las dimensiones de cada una de ellas corresponderá al 15% y al 10% de la superficie del invernadero respectivamente. Si la ventilación se coloca solamente en el techo, las dimensiones de las ventanas corresponden al 15%.

#### **Enfriamiento y Humidificación**

La tendencia de la humedad relativa es que a mayor temperatura ésta se reduce, al punto en que se pueden afectar los cultivos; durante la noche la humedad relativa del aire alcanza un nivel muy alto, cuando se alcanza la saturación se condensa bajo la cubierta y llega a gotear sobre el

cultivo, lo que puede provocar problemas fitosani-  
tarios.

Con el fin de mantener condiciones de tempe-  
ratura y humedad relativa adecuadas para el culti-  
vo, se utilizan humidificadores de "pared húmeda  
extracción" lo que puede lograrse con equipos de  
aire lavado o bien acondicionando paredes húmedas  
verticales u horizontales; otra posibilidad es re-  
gar los pasillos o realizar aspersiones frecuen-  
tes.

Para calcular el área necesaria de humidifi-  
cación, se utiliza la relación que existe entre  
el volumen de aire por extraer y el área de en-  
friamiento necesaria por cada  $47.2 \text{ m}^3$  de aire ex-  
traídos. Con base en lo anterior, se ha estable-  
cido que por cada  $47.2 \text{ m}^3$ , se requiere de una su-  
perficie de  $1 \text{ m}^2$ , por lo tanto el área de humidi-  
ficación se calcula con la siguiente fórmula.

**Area Humidificación =**

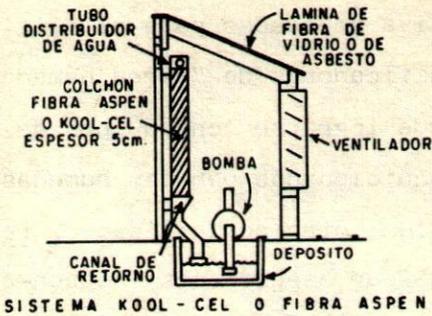
$$\frac{\text{Vol. total del invernadero (m}^3\text{)}}{47.2 \text{ (m}^3\text{/m}^2\text{)}}$$

En la figura 12 se presentan los diferentes  
tipos de humidificación que se pueden utilizar.

### **Calefacción.**

Los invernaderos son construídos principal-  
mente para proteger los cultivos durante las --

## SISTEMAS DE PARED VERTICAL



## SISTEMA DE PARED HORIZONTAL

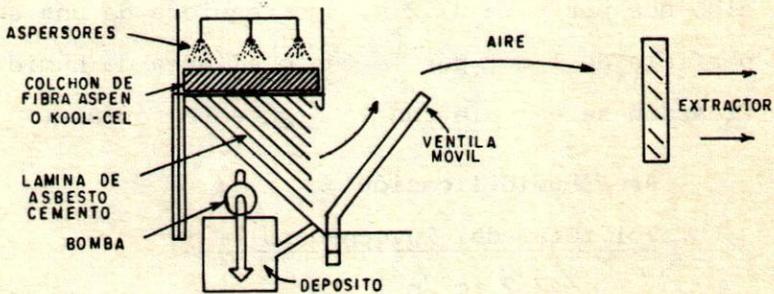


Figura 12. Sistemas de humidificación

estaciones frías y poco luminosas, beneficiándose lo más posible con la radiación solar que eleva la temperatura interior.

Las radiaciones solares no calientan directamente el aire del invernadero, sino que al incidir sobre el suelo, una parte se queda en la tierra y otra es emitida, calentándose la atmósfera interior. El calor es retenido dentro del invernadero por el cierre hermético que ejerce la cubierta, sin la cual dicha temperatura se perdería. Con el fin de lograr un máximo aprovechamiento de la energía del sol, se construye en donde la luminosidad natural sea excelente, quede protegido de los vientos y la atmósfera esté limpia de polvo y humos.

Aún cuando se realice lo anterior, es probable que en los días más fríos el calor producido en el interior del invernadero como consecuencia de la energía solar sea insuficiente.

Se puede optar por tres rangos de calefacción en función de las temperaturas que se desea mantener en el invernadero y de los recursos económicos que se tengan. Los rangos que más se utilizan son los siguientes:

- a) Calefacción para mantener temperaturas ligeramente superiores a las mínimas -

letales (antiheladas)

3 a 6°C

b) Calefacción para mantener mínimas biológicas:

10 a 14°C

c) Calefacción capaz de mantener las temperaturas óptimas

20°C o mayor.

### Requerimiento de Calefacción.

La metodología que se utiliza, es la que relaciona la superficie expuesta, el diferencial de temperatura D.T. ( $T$  interior -  $T$  exterior) y un factor de aislamiento según el tipo de cubierta. Dicho factor es el siguiente:

Cubierta	FA (Cal/h°C $\frac{2}{\text{cm}}$ )
Fibra de vidrio	0.5467
Vidrio	0.9764
Polietileno	0.4882
Polietileno doble capa*	0.3417

\* Una manera de ahorrarse hasta un 30% de energía, es colocando una doble capa de polietileno (5 cm) inyectándole aire caliente y recirculándolo a través de ésta.

La carga de calefacción se calcula con la siguiente fórmula:

$$Q_1 = S \times D T \times FA$$

donde:

$Q_1$  = Carga de calefacción (Cal/h)

FA = Factor de aislamiento (Cal/h°C cm<sup>2</sup>)

S = Superficie expuesta (m<sup>2</sup>)

DT = Diferencial de temperatura (°C)

Generalmente se tendrán pérdidas de calor de aproximadamente un 30% debido a la infiltración del aire, por lo cual se debe considerar que la carga total de calefacción será:

$$Q_T = 1.3 Q_1$$

Los sistemas de calefacción que más se utilizan para elevar las temperaturas en invernadero, son el de aire caliente y el de estufa o calefactor doméstico.

**a) Calefacción por aire caliente.**

En este sistema el calor se produce al utilizar generadores alimentados por combustible derivado del petróleo (diésel, diáfano o gases) o energía eléctrica. El aire que calienta el generador es el del interior del invernadero, recirculándolo por medio de ventiladores a través del generador y distribuyéndolo a

todo lo largo del invernadero por medio de ductos de polietileno perforados.

**b) Estufas o calefactores domésticos.**

Este tipo de calefacción se basa en la gasificación del petróleo diáfano, el cual logra el calentamiento por medio de la combustión de los gases.

En este sistema, los gases de combustión deben desalojarse del interior del invernadero para evitar intoxicaciones.

Su costo se puede considerar como el más económico, siendo una buena solución contra el efecto de heladas.

**Cálculo de Climatización (Ejemplo)**

A continuación se determinan los requerimientos de ventilación forzada, área de humidificación y calefacción, para un invernadero del tipo semicircular con cubierta sencilla de polietileno.

Las dimensiones son las siguientes:

Longitud = 45 m

Ancho = 8 m

Altura = 4 m

Partiendo de las bases ya establecidas se determinan los parámetros:

### a) Ventilación

Para determinar la ventilación necesaria en el invernadero se considerará el cambio del volumen total del aire, una vez por minuto.

El volumen total de invernadero será -- igual al de un medio cilindro de ahí que:

$$V = \frac{\pi r^2 L}{2}$$

Donde:

V = Volumen del invernadero ( $m^3$ )

r = Altura total (m)

L = longitud (m)

$$V = \frac{(3.1416) (4)^2 (45)}{2} = 1130.97 m^3 \approx 40,000 \text{ pies}^3$$

Con base en el volumen calculado y la -- longitud del invernadero se determina el número de extractores. Requiriéndose 8 equipós de  $141.37 m^3/\text{min}$  (5000 pcm) cada uno, se colocan a lo largo del invernadero a 5 m uno del otro.

### b) Humidificación.

Se puede realizar de dos maneras:

La primera consiste en construir un humidificador a partir del área de humidificación calculada y puede ser horizontal

o vertical. La segunda, es aprovechando los equipos de aire lavado que ya existen en el mercado.

Primer caso:

Para construir el humidificador, se parte de determinar el área de humidificación y de la relación de humidificación previamente establecida.

Con base en lo anterior, tenemos que:

$$\text{Area de humidificación tot.} = \frac{\text{Volumen total (m}^3\text{)}}{\text{Relación (47.2 m}^3\text{/m}^2\text{)}}$$

donde:

$$\text{Area de humidificación} = \frac{1130.97 \text{ (m}^3\text{)}}{47.2 \text{ (m}^3\text{/m}^2\text{)}} = 24 \text{ m}^2$$

La cual distribuída a todo lo largo del invernadero correspondería a una franja de 45 m de largo por 53.3 cm de altura. El espesor del colchón de fibra (aspen o Koo-cell) a humedecer, es de 5 a 6 cm. Este se humedece por un sistema de circulación continua de agua, lo que se logra por medio de una bomba y un distribuidor.

Segundo caso:

En lugar de construir el humidificador,

se pueden instalar 8 equipos de aire lavado de 5000 pcm con descarga vertical los cuales cuentan con cuatro colchones de humidificación que en conjunto proporcionan una área aproximada de  $3.2 \text{ m}^2$  por equipo, con lo que en total se tendrá -- una superficie de humidificación de --  $25.6 \text{ m}^2$  que es un poco mayor que la requerida.

Con este tipo de equipos se logra obtener hasta un 30% más de eficiencia, además de que ya no sería necesario instalar los equipos de extracción sino solamente colocar ventilas cenitales.

### c) Calefacción

Para determinar el requerimiento de calefacción es necesario considerar tres factores: la superficie expuesta del invernadero (S)  $\text{cm}^2$ ; las temperaturas interior y exterior (D.T.) en  $^{\circ}\text{C}$  y el material de cubierta (FA) en  $\text{Cal}/\text{h}^{\circ}\text{C} \text{ cm}^2$ . Con estos factores y através de la fórmula  $Q_1 = S \times D T \times FA$  se obtiene la carga de calefacción.

$$S = \pi r (r+L) \text{ donde: } r = 4 \text{ m}$$

$$\text{y } L = 45 \text{ m}$$

$$DT = (T_1 - T_2) \text{ donde:}$$

$$T_1 = 9.9^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 0^\circ\text{C}$$

$$FA = 0.4882 \text{ Cal/h}^\circ\text{C cm}^2$$

La temperatura interior deseada se consideró como una protección contra el efecto de las heladas.

$$S = 615.75 \text{ m}^2 \times 10000 \text{ cm}^2/\text{m}^2 = 6157500 \text{ cm}^2$$

$$DT = (9.9 - 0) = 9.9^\circ\text{C}$$

$$FA = 0.4882 \text{ Cal/h}^\circ\text{C cm}^2$$

$$Q_1 = 6.1575 \times 10^6 \times 9.9 \times 0.4882 = \\ 29'760,305.85 \text{ Cal/h}$$

Esta sería la carga de calefacción si no se tuvieran pérdidas por infiltración de aire, pero como regularmente sí las hay, se considera un 30% más del valor calculado, de ahí que:

$$Q_T = 1.3 Q_1$$

$$Q_T = 38'688,397.61 \text{ Cal/h.}$$

La carga de calefacción calculada se puede satisfacer con uno o dos generadores de calor, dependiendo de las capacidades disponibles en el mercado. La inyección del

aire caliente para recircularlo se hace con dos ventiladores de  $184 \text{ m}^3$  por minuto (6500 pcm) y a través de ductos de po lietileno perforado.

## V LITERATURA CONSULTADA

- Ellwood, Charles. 1977. How to Build and Operate your Greenhouse. Ed. H.P. Books U.S.A.
- Robledo de Pedro, F. y Marín Vicente L. 1981. Aplicación de los plásticos en la Agricultura. Ed. Muni Prensa. Madrid, España.
- Romero Fierro, E. 1979. Manual de construcción y operación de invernaderos familiares para la producción de hortalizas con riego por goteo. Ed. Centro Nacional de Métodos Avanzados de Riego. SARH. México.
- Romero Fierro, E. 1979. Avances de Investigación en el Cuánto, Cuándo y Cómo regar el Cultivo de Tomate en Condiciones Hidropónicas - Bajo Invernadero. Ponencias CENAMAR-SARH. XII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. México
- Romero Fierro, E. 1982. Cultivo de Tomate en Condiciones Hidropónicas bajo Invernadero. El Cuánto, Cuándo y Cómo Regar. Ponencia - CENAMAR-SARH. 1er. Encuentro Nacional de Docentes e Investigadores en el Manejo de Los Recursos Hidráulicos. Veracruz, Ver. México.

**En el proceso editorial de esta publicación  
colaboraron:**

**Edición:**

Lic. Mireya A. Valverde Flores

**Mecanografía:**

Silvia Martínez Ríos

**Portada:**

Gilberto Rodríguez Hernández

**Impresión:**

Juan Martínez Rojas

Lucio Arreola Ramírez

**Encuadernación:**

Candelario Salazar Rodríguez

Francisco Estrada Tapia

**Dibujos:**

Gabinete de Dibujo del PRONAPA

### COMITE EDITORIAL

**Presidente:** Ph.D. Luis Fernando Flores Lui  
**Secretario:** Lic. Mireya A. Valverde Flores  
**Vocales:** Lic. Mayela García Alba I.  
M.C. José Antonio Cueto Wong

Esta publicación se terminó de imprimir en el mes de Agosto de 1988 en el Taller de Impresión del PRONAPA. Km. 6+500 Canal Sacramento. Gómez Palacio, Dgo. México.

**Tiraje**  
**1000 Ejemplares**