

300617  
29  
2ej



**UNIVERSIDAD LA SALLE**

**ESCUELA DE INGENIERIA  
INCORPORADA A LA U. N. A. M.**

**"ESTUDIO DE UN SISTEMA ELECTRONICO  
DE REGULACION AUTOMATICA DE UN  
CULTIVO HIDROPONICO CASERO"**

**TESIS PROFESIONAL  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
AREA ELECTRONICA  
P R E S E N T A :  
ADRIANA MARIA PITOL RODRIGUEZ**

MEXICO, D. F.

1989

**FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# I N D I C E

INTRODUCCION	1
<b>1. NATURALEZA DE LOS CULTIVOS HIDROPONICOS</b>	
1.1 Conocimientos básicos sobre cultivos hidropónicos.	5
1.2 Armado de una unidad hidropónica.	10
1.3 Siembra y cuidado general.	14
1.4 Selección y construcción de un invernadero casero.	17
<b>2. NUTRICION DE LOS CULTIVOS</b>	
2.1 Alimentación necesaria de los vegetales seleccionados y algunos métodos existentes para proporcionársela.	22
2.2 Sistema propuesto para el suministro del líquido nutritivo.	30
2.3 Análisis del funcionamiento del circuito propuesto.	42
<b>3. CONTROL DE TEMPERATURA Y HUMEDAD</b>	
3.1 Rangos de temperatura y humedad necesarios.	47
3.2 Enfriamiento.	49
3.3 Calefacción.	63
3.4 Circuitos existentes para la regulación de temperatura y selección del mismo.	72
3.5 Análisis del funcionamiento del circuito propuesto.	88
<b>4. CONTROL DE LUZ</b>	
4.1 Cantidad de luz necesaria para el cultivo.	96
4.2 Métodos existentes para controlar la iluminación de un invernadero.	99
4.3 Sistema propuesto para controlar la iluminación.	114
4.4 Análisis del funcionamiento del circuito propuesto.	118
<b>5. INTEGRACION DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA</b>	
5.1 Armado y adaptación de los sistemas de regulación propuestos.	124
5.2 Inversiones y costos.	131

<b>5.3 Estudio de factibilidad del invernadero.</b>	<b>137</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>139</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>144</b>

## INTRODUCCION

Los vegetales y las verduras frescas son esenciales para una buena alimentación. En la ciudad de México, así como en las grandes ciudades, el crecimiento de la población está agotando los espacios que podrían ser cultivados para lograr el abastecimiento necesario; la obtención de estas legumbres es cada vez más difícil debido a su constante incremento en el precio, y en algunos casos a la escasez de las mismas.

Este problema puede ser disminuido con la creación de pequeños huertos caseros en donde cada familia cultive sus propias verduras. Sin embargo, la creación de estos no se lleva a cabo ya que las casas o departamentos no cuentan con el jardín o porción de tierra necesarios o por el tiempo que se les debe invertir.

En el presente estudio se propone un invernadero de un cultivo sin tierra (hidropónico). Un invernadero es un agente modificador del medio ambiente, cuya finalidad es proteger al cultivo de enfermedades y fenómenos meteorológicos mejorando su rendimiento y calidad en el menor tiempo y espacio posible. En un invernadero hidropónico además se tienen -- otras ventajas como son: el poder ser instalado en cualquier

parte, incluso en una azotea sin llegar a tener problemas de humedad en la casa; mejorar aún más la calidad y crecimiento rápido de las legumbres; ahorro de tiempo y trabajo, puesto que quedan totalmente eliminadas las pesadas tareas de cavar, desyerbar y fertilizar; ausencia total de polvos, olores e insectos y la posibilidad de obtener las verduras deseadas durante todo el año.

En este trabajo se proponen sistemas de regulación automática de las variables que más afectan al buen crecimiento y desarrollo de las plantas para reducir al mínimo los cuidados que una persona debe tener en el cultivo de sus vegetales y mejorar la producción de los mismos.

Dada la variedad de condiciones ambientales, se propone un sistema diferente para cada variable a controlar, para así utilizar únicamente los que sean necesarios de acuerdo al lugar en que sea instalado el invernadero.

En el primer capítulo, se explica brevemente en qué consiste y cómo se inició la hidroponía, los componentes de una unidad hidropónica, la construcción de un invernadero casero y la selección de diez y siete especies hortícolas para abastecer a una familia de seis personas durante todo el año.

El segundo capítulo trata sobre el riego y la nutrición de los cultivos. En la hidroponía, las plantas adquieren su alimento de sales disueltas en el agua con que se riegan. En este capítulo se explican algunos de los sistemas existentes

tes para proporcionar este alimento y la selección de uno - de ellos. Una vez seleccionado el sistema se presentan diversos circuitos que pueden realizar el control e igualmente se escoge uno, el cual es finalmente analizado con mayor detenimiento.

En el tercer capítulo se habla sobre dos de las variables - que más afectan al crecimiento de las plantas: la temperatura y la humedad. Se especifican los rangos requeridos para las hortalizas seleccionadas; se describen brevemente algunos sistemas existentes para enfriar el medio ambiente sin descuidar la humedad y se selecciona uno de ellos; se explica en qué consisten algunos de los sistemas más utilizados para la calefacción de invernaderos y se propone uno para - el invernadero en cuestión; se presentan algunos circuitos- reguladores de temperatura, se selecciona uno, se analiza y se verifica que su funcionamiento corresponda al del sistema propuesto.

La luz es otra variable que interviene en el crecimiento de las plantas. En el capítulo 4 se explica su importancia, - la selección de uno de los métodos existentes para controlarla, los circuitos más utilizados para este fin, y por último, se propone y analiza uno de ellos.

Finalmente, el capítulo 5 trata sobre el armado y adaptación de los sistemas propuestos en los tres capítulos anteriores, así como sobre los costos de los mismos para llevar a cabo-

un estudio de factibilidad que determinará si es costeable  
o no la construcción del invernadero.



## CAPITULO 1

### NATURALEZA DE LOS CULTIVOS HIDROPONICOS

#### 1.1 CONOCIMIENTOS BASICOS SOBRE CULTIVOS HIDROPONICOS

El término hidropónico deriva de las palabras griegas hydor, agua, y ponos, trabajo, que combinadas significan agua trabajando y son una alusión al empleo de soluciones de agua y fertilizantes químicos para el cultivo de plantas sin tierra en contraposición al cultivo normal en tierra o geoponia (trabajo de la tierra).

La posibilidad de cultivar plantas sin tierra comenzó hace - aproximadamente tres siglos, cuando John Woodward, en 1699, trató de establecer si era el agua o las partículas de la tierra las que nutrían las plantas. En 1804 Nicolás de Saussure demostró que las plantas necesitan sustancias minerales para - alcanzar su óptimo desarrollo. En los años 1859 - 1865 el -- alemán Julio Von Sachs descubrió que agregando al agua cantidades balanceadas de fertilizantes químicos, podían cultivarse plantas prescindiendo de tierra o abonos, pero adn bajo - condiciones cuidadosamente controladas. Sus conclusiones fueron universalmente aceptadas hasta alrededor de 1920.

Pero fue hacia 1929 - 1930, cuando el doctor William F. Gericks

montó unidades de cultivo al aire libre. Sus experimentos - tuvieron tanto éxito, que sus plantas alcanzaron tal altura que debió cosechar los vegetales con ayuda de escaleras. A esta nueva ciencia le dio el nombre de cultivo hidropónico.

Con la publicación de los resultados obtenidos, el uso del - método hidropónico se propagó rápidamente por todo el mundo. Actualmente son muy pocos los países de todo el mundo en don- de no prosperan cultivos hidropónicos tanto en el campo comer- cial como en la jardinería doméstica.

El cultivo hidropónico es una técnica creada por el esfuerzo humano y mantenida por medio de sistemas de control cientifi- camente balanceados, por lo que comprende más que una activi- dad técnica, un arte en el sentido real de la palabra.

Existen varios métodos de cultivo hidropónico, todos ellos - basados en los mismos principios: la utilización de solucio- nes de agua y fertilizantes químicos para nutrir las plantas. La diferencia principal reside en la elección de las bandejas de cultivo, en los agregados o mezclas de sostén, es decir - en lo que se utiliza para sostener las raíces de las plantas.

Todos los cultivos sin tierra deben de tener un medio mate- rial que sirva de soporte a las raíces para que la planta se mantenga erguida. En el método original se utilizaba un bag- tidor de alambre colocado sobre tanques de poca profundidad - de modo tal que las raíces de las plantas pasaban a través - del bastidor para buscar la solución nutritiva. Debido a que

la aireación presentaba graves problemas, actualmente se utilizan mezclas de materia inerte para colocarlas como base en los recipientes de cultivo o bandejas y así proporcionar a las plantas una buena base de sustentación. Hoy en día las sustancias más utilizadas para este fin son arena, grava, piedras trituradas, cenizas lavadas, vermiculita, aserrín y piedrecillas o canto rodado.

Para comprender en qué consiste un cultivo hidropónico primeramente se estudiará el mecanismo del crecimiento de las plantas:

Una planta es como un laboratorio natural donde cada sección se ocupa de transformar materias primas en tejido orgánico - vivo; para asegurar un buen crecimiento todas las plantas superiores (plantas verdes y la gran mayoría de las flores y las hortalizas) requieren ciertos elementos esenciales como agua, luz, aire, sales minerales y sustentación para las raíces. Ya que la mayor parte de las plantas no ingieren alimentos sólidos u orgánicos, se ven obligadas a absorber una parte de los elementos nutritivos que necesitan de los gases que se encuentran en la atmósfera y de las soluciones acuosas de sales inorgánicas y sustancias químicas. Estas sustancias - simples son transformadas por las diversas secciones de las plantas en tejido orgánico con la energía que obtienen de la luz. Para completar el proceso de crecimiento, las sales minerales en solución acuosa, son absorbidas por las raíces de las plantas.

Las plantas normalmente crecen hacia arriba, buscando la luz. Para ayudarlas a sostenerse firmemente es primordial una base de sustentación adecuada. Cuando las plantas crecen en el suelo, la tierra provee esta sustentación.

"De los cinco requisitos esenciales para que la planta pueda crecer bien, el proceso hidropónico provee normalmente tres en la misma forma que los cultivos en tierra. Agua, luz y aire son dones de la naturaleza que pueden suministrarse en la casa como parte de lo que nos rodea o si no, por medios artificiales. Pero los dos últimos elementos, las sales minerales y el sostén para las raíces, deben proporcionarse como suplemento."<sup>(1)</sup>

En los cultivos hidropónicos la adición de elementos nutritivos forma parte de un procedimiento de control y balance. -- Hoy se sabe que alrededor de once elementos diferentes son necesarios para el crecimiento de las plantas, sumados al oxígeno y al dióxido de carbono que provee el aire. Con fines prácticos se utilizan abonos químicos como fuente de elementos nutritivos porque son más baratos y más fáciles de conseguir, encontrándose ya preparados en forma conveniente.

El papel principal de la base de sustentación es dar soporte a las raíces de las plantas; además, sirve como depósito para el abastecimiento de la solución nutritiva y las sales fer

(1) DOUGLAS, J.S. "Hidroponia, Como Cultivar sin Tierra", p.13

tilizantes que contienen los alimentos vitales para el crecimiento vegetal.

Con esto queda explicada la diferencia principal entre el cultivo hidropónico y el cultivo en tierra. No solamente el cultivo sin tierra es preciso y controlado en todas sus funciones, sino que también ahorra mucho tiempo y trabajo, lo cual no ocurre cuando se cultiva según los métodos tradicionales geopónicos. El trabajo desordenado y sucio con los abonos naturales o el estiércol, el hedor característico y la acción lenta son reemplazados por nutrientes minerales limpios y de fácil adquisición. Así también la tierra y el uso del mantillo, con frecuencia poco confiable, son eliminados totalmente para reemplazarse por los agregados y otros medios de sustentación para las raíces, que resultan fáciles de manipular. Estas ventajas, así como las ya mencionadas, determinan que se considere el cultivo hidropónico como el sistema ideal para ser utilizado en el hogar.

## 1.2 ARMADO DE UNA UNIDAD HIDROPONICA

Usualmente, la unidad de cultivo hidropónico se compone de - tres partes: recipiente, agregado y suministro de agua. A - continuación se explican las formas más comunes de utilizar - estas partes.

### a) RECIPIENTE:

Llamado también cama, cantero, bandeja, batea o cubeta. Puede utilizarse todo tipo de recipiente para el cultivo hidropónico casero: bandejas cuadradas, macetas, ollas, piletas de cocina o cualquier otro receptáculo ya que todos ellos resultan aptos. O bien pueden construirse bateas de ladrillo o de cemento, de cualquier tamaño y de una profundidad de 25 cm <sup>(2)</sup> para que las raíces tengan suficiente espacio para su desarrollo y crecimiento. Los recipientes no deben ser de ningún material que pudiere resultar tóxico para las plantas.

El ancho y el largo de las bandejas dependerá de las necesidades de cada caso. Es importante asegurarse de que los recipientes para el cultivo hidropónico tengan perforaciones en su base, necesarias para drenaje y aireación, ya que necesitan que los orificios se abran en ciertos momentos para luego ser obturados por medio de tapones.

(2) HUTERWAL, G. O. "Hidroponia, Cultivo de Plantas sin Tierra", p.113-115

b) AGREGADOS:

Una vez elegidos o contruidos los recipientes, el próximo paso consistirá en rellenarlos con el agregado o medio de cultivo, para lo cual puede utilizarse con buen resultado gran variedad de elementos. A continuación se citan los más comunes:

**ARENA.-** Las mejores arenas para este fin son las gruesas, ya que las finas corren el riesgo de anegarse e impedir la buena aireación de las raíces.

**GRAVAS.-** Se componen de piedrecillas redondas o quebradas y toda clase de guijarros, piedra caliza, coral triturado, piedras de sílice o cuarzo, canto rodado, entre otros. Se obtienen mejores resultados - si contienen una razonable proporción de materiales más finos.

**LADRILLO TRITURADO.-** Es conveniente colocar trozos - pequeños y polvos de los mismos.

**VERMICULITA.-** Es un producto liviano y sumamente absorbente, ya que retiene agua y aire. Se obtiene en forma natural en depósitos ubicados en distintos lugares de la Tierra.

**TURBA.-** Se recomienda añadirse a los agregados de arena y vermiculita.

Además es posible agregar algunos otros materiales - de sustentación como son el aserrín, gránulos de plás

tico desmenuzados, la leca (agregado de arcilla expandida), cenizas lavadas, etc.

c) SUMINISTRO DE AGUA:

El único requisito para que el agua sea apta para el cultivo es que sea apta para el consumo humano o de animales, en cuyo caso lo será también para las plantas.

El agua de lluvia es teóricamente pura, pero en la práctica contiene pequeñas cantidades de nitrógeno, oxígeno y dióxido de carbono en disolución, como también ciertas impurezas, especialmente en zonas industriales, pero por lo general no afectan a los cultivos hidropónicos.

El suministro de agua a los recipientes hidropónicos, llamado también riego, puede efectuarse por medio de regaderas, jarras, mangueras de riego, sistemas de cañerías, pulverizadores, rociadores, etc.

Una vez escogido el recipiente, lo primero que debe hacerse es rellenarlo con el agregado elegido. Antes de poner este agregado, es conveniente colocar en el fondo una capa de aproximadamente cinco centímetros de espesor de trozos de maceta, tezontle o piedrecitas. Esto evitará que parte del medio de cultivo se cuele hasta los orificios de drenaje, arrastrado por el agua: además, asegurará una mejor aireación. El resto del recipiente deberá rellenarse con el agregado hasta un



centímetro del borde superior, asegurándose de que la superficie quede nivelada.

Una vez que el recipiente haya sido rellenado, se debe regar con la cantidad de agua necesaria para humedecer el medio de cultivo. Aproximadamente media hora después se retiran los tapones de los orificios para permitir que salga el exceso de agua. Los tapones deben colocarse nuevamente una vez que los recipientes hayan dejado de drenar.

### 1.3 SIEMBRA Y CUIDADO GENERAL

Una vez que los recipientes hayan recibido el agregado elegido y el primer riego, podrá comenzarse la siembra. Esta se hace con mayor facilidad que en la jardinería ordinaria debido a que el agregado tiene una textura uniforme y se le puede dar un grado exacto de humedad.

El medio de cultivo deberá conservar una cantidad de humedad tal como si fuese una esponja mojada apenas escurrida. Esto permitirá que la humedad necesaria llegue a la semilla en germinación y, posibilitará la aireación.

La forma más fácil de efectuar la siembra es quitando de la superficie una pequeña cantidad de agregado, para luego esparcir las semillas y volver a cubrirlas con el medio de cultivo hasta dejarlas bajo una delgada y efectiva cobertura. En el método hidropónico es posible sembrar a intervalos menores - de los que se acostumbra hacerlo en tierra, teniendo cuidado de que cada planta reciba la cantidad de luz adecuada.

Conviene hacer un pequeño riego después de la siembra, y después de unos días se advertirá la germinación en la superficie del medio de cultivo. Si así se desea, se pueden reordenar las plantas en distinta posición.

Una vez aplicado el riego inicial, la tarea siguiente consiste en asegurarse de que el medio de cultivo esté constantemente humedecido con las soluciones que contienen el alimento -

vital para las plantas. Por ejemplo, cada cuatro litros de agua que se empleen para el riego deben contener diez gramos o una cucharadita de mezcla nutritiva, en promedio, para alimentar a las hortalizas.

Al día siguiente de haber observado la germinación se debe suministrar la primera dosis de solución nutritiva cuidando que toda la superficie reciba igual cantidad de solución.

Periódicamente se deben retirar los tapones de drenaje para permitir que el agua o la solución nutritiva, que no ha sido utilizada y se encuentre en el fondo de los recipientes, pueda escurrirse. La solución desechada puede ser nuevamente utilizada en los riegos subsecuentes, los cuales se llevarán a cabo con la frecuencia necesaria para mantener el medio húmedo. Esta frecuencia dependerá de las condiciones ambientales del lugar en el que se encuentre el cultivo.

La luz es un elemento vital para el crecimiento de las plantas. Es conveniente que las unidades de cultivo reciban la mayor cantidad posible; sin embargo, es conveniente que las plantas no estén expuestas a la luz por periodos muy prolongados. En lugares de poca luz se puede instalar un tubo fluorescente de 40 W , teniendo en cuenta que estos tubos no emiten tanto calor como las lámparas de filamento, y por tanto, no quemarán las hojas de las plantas. Las plantas podrán -- ubicarse entre 30 y 60 cm de los tubos.

Otro aspecto importante a considerar es el aire. Al hablar de aire también se considera la humedad. La ventilación de los cultivos hidropónicos es vital para las plantas, debe haber una amplia circulación de aire fresco; sin embargo, son muy perjudiciales las corrientes de aire, el polvo, los gases o el humo. Si está muy seco el ambiente debe darse humedad al aire colocando recipientes con agua en lugares poco transitados de la habitación, rociando las hojas, pasándoles una esponja húmeda o utilizando un humidificador eléctrico.

Por lo general las plantas prefieren un calor moderado, sin mayores fluctuaciones. "La temperatura ideal para las plantas de clima templado se encuentra entre los 14 y los 21 grados centígrados, y de 24 a 32 grados centígrados para las especies tropicales, con un máximo de 51 a 54 grados para las zonas tórridas."<sup>(3)</sup> Las tolerancias para las temperaturas mínimas variará según las especies; así, algunas plantas morirán con temperaturas menores a cero grados centígrados, mientras que otras sobrevivirán. Por lo general, a temperaturas inferiores a cero grados, las condiciones de vida de las plantas se tornan muy difíciles.

(3) DOUGLAS, J.S. "Hidroponía, Como Cultivar sin Tierra". p.52

#### 1.4 SELECCION Y CONSTRUCCION DE UN INVERNADERO CASERO

Como se indicó en la introducción, la finalidad de un invernadero es proteger al cultivo de enfermedades y fenómenos meteorológicos mejorando su rendimiento y su calidad, en el menor tiempo y espacio posible.

Para cumplir con este objetivo es necesario que el lugar y los materiales de construcción del mismo sean los adecuados.

El mejor lugar para la construcción del invernadero es aquél en el que recibe la mayor cantidad de luz posible y en el que no existan cambios bruscos de temperatura. Sin embargo, se puede construir en lugares cubiertos en los que la luz solar puede sustituirse por luz artificial, como se mencionó en el inciso anterior.

Partiendo de la suposición que se construirá en un lugar des cubierto, existen diversos materiales para su construcción, entre los más comunes se encuentran los siguientes:

- con cubierta de plástico y estructura de madera,
- con cubierta de plástico y estructura metálica,
- con cubierta de vidrio y estructura de madera,
- con cubierta de vidrio y estructura metálica,
- con cubierta de acrílico y estructura de madera,
- con cubierta de acrílico y estructura metálica.

La selección de estos materiales se decide tomando en consideración los aspectos citados en la tabla 1.1.

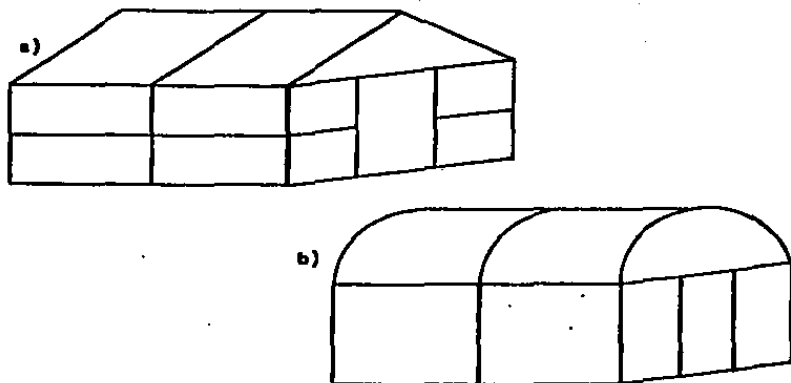
MATERIAL:	POLIETILENO	ACRILICO	VIDRIO
USO EN EL PAIS:	frecuente	regular	escaso
DURABILIDAD:	6-18 meses	4-10 años	indefinido
RESISTENCIA A LA INTEMPERIE:	mala	buena	buena
TRANSMISION DE LUZ:	regular (70-75%)	buena (80-86%)	excelente (86-100%)
COSTO:	0.04X	0.8X	X
ESPESOR:	0.04-0.06mm	1.2-1.6mm.	2-3mm
PESO/m <sup>2</sup> :	0.2 Kg	1.2-1.9 Kg	9.1-9.5 Kg

TABLA 1.1 CARACTERISTICAS DE MATERIALES DE RECUBRIMIENTO  
DE INVERNADEROS

El material de la estructura no influye en el cumplimiento - del objetivo del invernadero, por lo que se puede seleccionar arbitrariamente.

La forma del invernadero puede variar dependiendo del material de la estructura. La figura 1.1 muestra las dos formas más utilizadas en el país. La figura (a) corresponde a un invernadero con armadura de madera o aluminio, y la figura (b) corresponde a una estructura de varilla de acero.

El tamaño del invernadero dependerá de la cantidad de plantas que se deseen sembrar, y por consiguiente del número y tamaño de las camas que se utilizan. Es conveniente dejar un espacio entre camas de por lo menos 50cm de ancho para facilitar el cuidado de las mismas.



**FIG. 1.1 ESTRUCTURAS DE INVERNADEROS. a) ESTRUCTURA DE MADERA. b) ESTRUCTURA DE VARILLA DE ACERO.**

La tabla 1.2 presenta una selección de 17 especies hortícolas para un huerto familiar. Todas estas especies, en las cantidades indicadas, pueden ser sembradas en dos camas de 2m X 1m y dos de 2m X 0.5m, por ejemplo el arreglo que presenta la - figura 1.2. Por lo tanto, si tenemos estas camas y consideramos la separación entre ellas, podremos tener un huerto familiar en tan sólo quince metros cuadrados (3m X 5m) como se muestra en la figura 1,2.

Con esta disposición se podrá abastecer a una familia de seis personas durante todo el año.

ESPECIE	SIEMBRA (plant./quin)	COSECHA (quincenas)	DIST.+PLANT (cm)	SUP. OCUPADA (m <sup>2</sup> )
Acelga	5	4	15	0.17
Betabel	4	5	10	0.20
Calabacita	1	4	25	0.63
Cebolla	5	10	8	0.35
Cebollín	40	5	4	0.10
Cilantro	1 hilera	3	-	0.08
Col	1	7	25	0.30
Coliflor	1	7	25	0.32
Chicharo	3	5	10	0.14
Espinaca	4	3	10	0.10
Frijol	3	5	20	0.63
Jitomate	1	8	25	1.10
Lechuga	1	6	25	0.60
Pepino	1	5	25	0.22
Perejil	4 hileras	4	-	0.15
Rábano	14	2	4	0.35
Zanahoria	14	8	5 x 10	0.55

TABLA 1.2 SELECCION DE 17 ESPECIES HORTICOLAS PARA UN HUERTO FAMILIAR (A)

(A) CHONG, A. "Curso de Hidroponia Básica", p.34



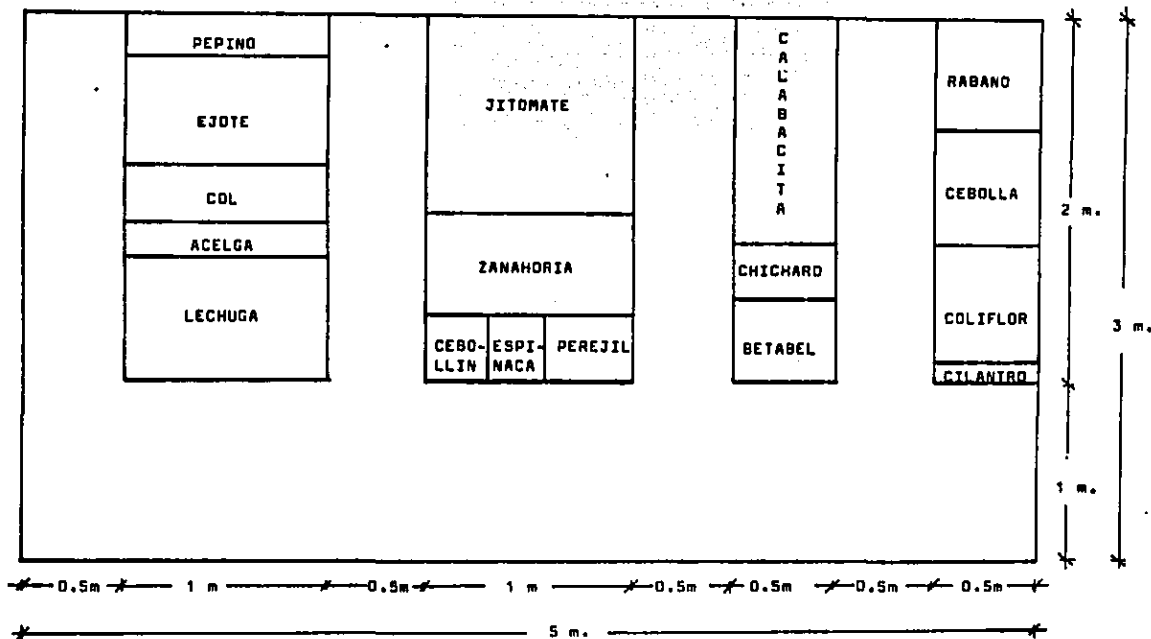


FIG. 1.2 POSIBLE DISTRIBUCION DE UN INVERNADERO CASERO

## CAPITULO 2

### NUTRICION DE LOS CULTIVOS

#### 2.1 ALIMENTACION NECESARIA DE LOS VEGETALES SELECCIONADOS Y ALGUNOS METODOS EXISTENTES PARA PROPORCIONARSELA

Se puede decir que de los cinco requisitos esenciales para que las plantas puedan crecer bien (agua, luz, aire, sales minerales y sustentación para las raíces) el más importante es el agua ya que es el elemento que permitirá que la semilla germine y posteriormente gran parte de las sales minerales son absorbidas en soluciones acuosas.

La principal diferencia entre la geoponia y la hidroponia es la fuente de adquisición de estas sales minerales o nutrientes. Como se explicó anteriormente en la geoponia éstas son provistas por la tierra que sostiene a la planta, a diferencia de la hidroponia en la que se deben de suministrar con el riego de la misma. De aquí la mayor importancia en el control del suministro de agua o líquido nutritivo en un invernadero hidropónico.

Debe existir suficiente cantidad de agua, ya que las plantas en crecimiento la precisan en abundancia, sin embargo se debe tener cuidado de no suministrarles más de la necesaria pues las plantas pueden enfermar y morir. La cantidad-

de agua y alimentos que requiere la planta difieren de acuerdo al clima y a la época del año; por ejemplo, en un invernadero de 4,000 m<sup>2</sup> sembrado con plantas de tomate, durante su fase de crecimiento en verano necesita 1,500 m<sup>3</sup> de agua, mientras que para el riego invernal suelen emplearse 450 m<sup>3</sup>, -- así mismo pueden necesitar 18 m<sup>3</sup> de agua en un día soleado -- de junio y unos 90 m<sup>3</sup> durante una semana a mitad de verano. -- Por consiguiente, la cantidad de solución nutritiva que se suministre a las plantas variará de acuerdo al clima y ellas mismas determinarán esta cantidad ya que solamente absorberán el agua necesaria y el resto quedará en las camas indicando que se debe suministrar menor cantidad; y por el contrario; cuando las camas estén secas será necesaria mayor irrigación.

A continuación se explican brevemente algunos de los métodos más utilizados para este suministro.

**a) SISTEMA DE SUBIRRIGACION POR BOMBEO:**

En este sistema el recipiente debe estar construido con un fondo en forma de V muy abierta y una débil pendiente hacia uno de los extremos. Con estos declives en el fondo de los recipientes quedará facilitado el corrimiento de la solución nutritiva todas las veces que se le hace circular.

El extremo superior del recipiente, en el fondo, posee un orificio por donde se le suministra la solu-

ción nutritiva desde un tanque de almacenamiento. Este tanque está conectado por medio de una tubería a una bomba que proporcionará el suministro de la solución al recipiente, como se muestra en la figura 2.1 (a). En el extremo inferior, otra tubería une al recipiente con el tanque para permitir el drenaje. A intervalos regulares de tiempo, se hace circular la solución desde el tanque de almacenamiento hacia el recipiente de cultivo donde permanece determinado tiempo para después regresar al tanque. Es importante que estos intervalos sean modificados de acuerdo al clima por las razones explicadas anteriormente.

Cuando la solución ha sido desalojada del recipiente de cultivo, la arena o medio de sustentación retiene el líquido suficiente, debido a su porosidad, para -- que no falte a las raíces, manteniéndose así la humedad necesaria. Igualmente, al penetrar aire en las -- porosidades se asegura la presencia de oxígeno que también es vital para las plantas.

La figura 2.1 (b) presenta el diagrama de bloques de este sistema. Como se observa, es un sistema de lazo abierto en el que:

- $r_1$  (entrada de referencia).- Condición de humedad necesaria para el buen desarrollo y crecimiento de las plantas
- $g_{1-3}$  (elementos de control).- El circuito de reloj encenderá la motobomba cada determinado tiempo con

el fin de proporcionar a las camas el líquido necesario para conservar la humedad.

- u (punto de ajuste).- Señal externa que se aplica al circuito de reloj para calibrar el tiempo de encendido y apagado de la bomba, y por lo tanto afectará el valor de la salida.
- m (variable manipulada o señal de control).- Cantidad de agua que los elementos de control aplican a la planta o proceso.

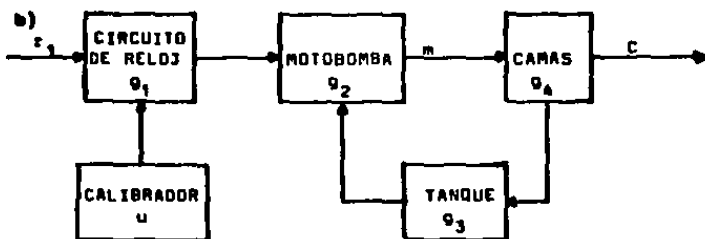
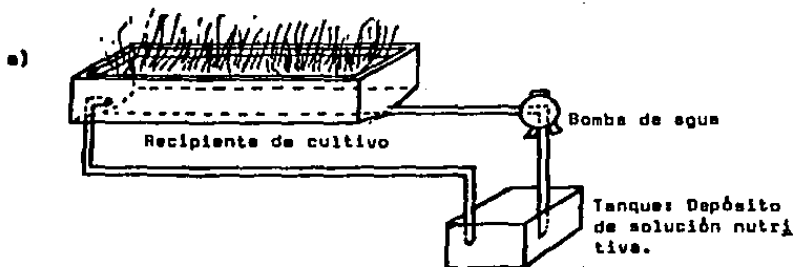


FIG. 2.1 SISTEMA DE SUBIRRIGACION POR BOMBEO Y SU DIAGRAMA DE BLOQUES

- g<sub>4</sub> (Proceso).- Lugar que se va a humedecer, es decir los recipientes de cultivo.
- c (salida controlada).- Humedad actual en las camas o recipientes.

b) SISTEMA DE SUBIRRIGACION A NIVEL CONSTANTE:

Este sistema<sup>(1)</sup> prescinde del tanque de almacenamiento, como se presenta en la figura 2.2 (a). El recipiente de cultivo es análogo al anterior, pero la solución nutritiva está localizada permanentemente a algunos centímetros por debajo de la superficie de la arena. Para asegurar la oxigenación, el líquido se aspira periódicamente en uno de los extremos del recipiente y proyecta con alguna violencia contra el otro extremo el cual es un compartimiento desprovisto de medio de sustentación y separado del resto del recipiente por un tabique con perforaciones. La caída del chorro de solución nutritiva es lo suficientemente fuerte como para que se le incorpore y mezcle el aire necesario.

Si se compara el diagrama de bloques del sistema de subirrigación por bombeo [figura 2.1 (b)] con el del sistema de subirrigación a nivel constante [figura 2.2 (b)], se pueden observar dos diferencias:

- El sistema de subirrigación a nivel constante tiene-

(1) HUTERWAL, G.O. "Hidroponia, Cultivo de Plantas sin Tierra" p.111

un punto de ajuste  $u_2$  adicional que entra directamente a la planta sumándose con  $m$  y afectará el estado de las camas. Es decir, en este sistema se tendrá mayor oxigenación.

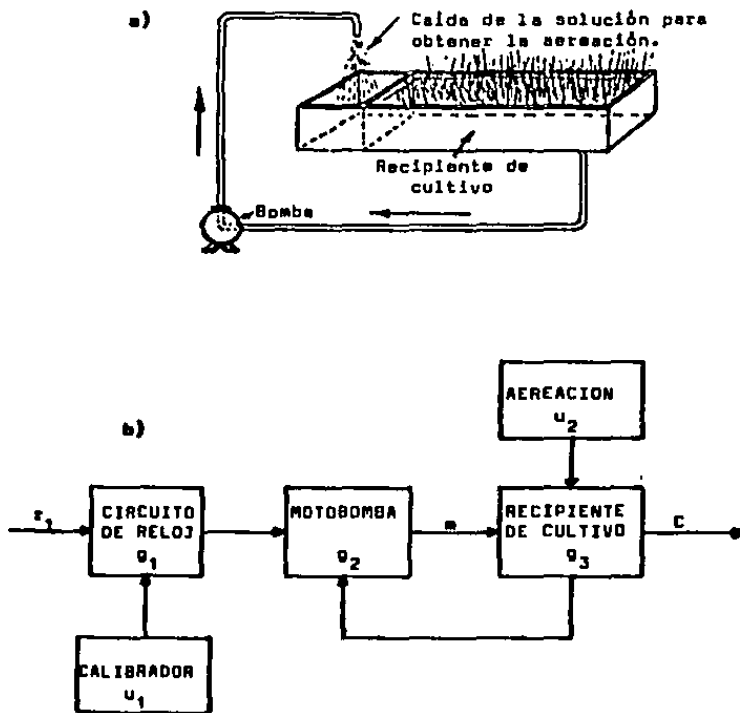


FIG. 2.2 SISTEMA DE SUBIRRIGACION A NIVEL CONSTANTE Y SU DIAGRAMA DE BLOQUES.

- El sistema de subirrigación por bombeo posee un tanque adicional en el que el sistema a nivel constante puede ser construido junto con las camas. Sin embargo, este depósito puede proporcionarle a las plantas mayor líquido del necesario, lo cual las afectará.

Estas son las únicas diferencias entre los dos sistemas, por lo que todas las variables y elementos que aparecen en la figura 2.2 (b) pueden ser estudiados en el subinciso anterior.

#### c) SISTEMA DE CULTIVO EN SECCIONES:

Este método<sup>(2)</sup> permite utilizar en forma independiente varias soluciones. El sistema exige un interruptor de tiempo, un compresor de aire y varios depósitos de solución nutritiva herméticamente cerrados, como se muestra en la figura 2.3 (a). Estos depósitos se conectan con la instalación de aire comprimido. El compresor envía el aire a los depósitos y fuerza la solución hacia los diversos cajones de cultivo, cuando el compresor se detiene, la presión cede y la solución vuelve a los depósitos. La principal ventaja del sistema es que puede adaptarse a unidades pequeñas y a multitud de plantas y soluciones de diferentes fórmulas químicas.

(2) MUTERWAL, G.O. "Hidroponia, Cultivo de Plantas sin Tierra" p.113



El diagrama de bloques de este sistema se muestra en la figura 2.3(b). A diferencia de los dos sistemas anteriores, se tiene un compresor y depósitos herméticamente cerrados, en lugar de una motobomba y tanques de almacenamiento. Esto puede ocasionar la falta de oxigenación de la solución, por lo que es únicamente recomendable camas pequeñas y principalmente invernaderos experimentales.

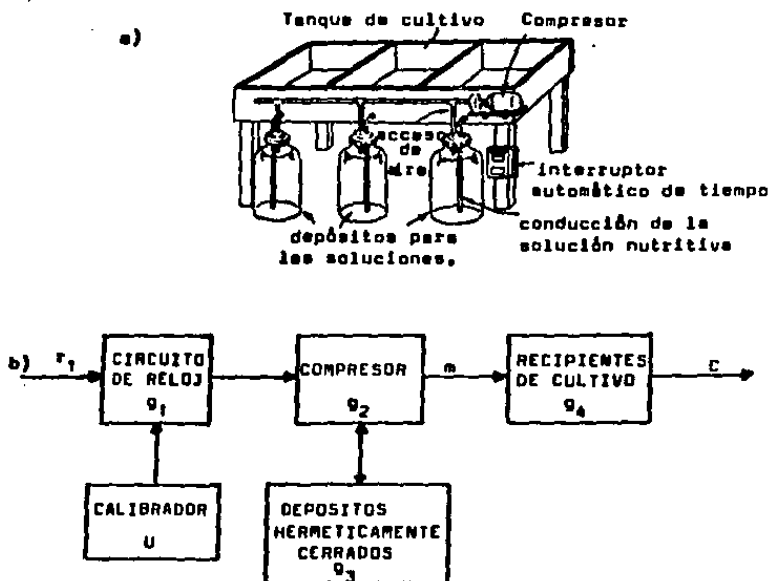


FIG. 2.3 SISTEMA DE CULTIVO EN SECCIONES Y SU DIAGRAMA DE BLOQUES

## 2.2 SISTEMA PROPUESTO PARA EL SUMINISTRO DEL LIQUIDO NUTRITIVO

Debido a que en el invernadero propuesto se utiliza únicamente una fórmula de solución nutritiva y que lo más óptimo es - que se suministre cada vez que sea necesario, se seleccionará el sistema de subirrigación por bombeo con una variante: la - bomba será accionada cada vez que un sensor detecte la falta de humedad en las camas o recipientes de cultivo y permanecerá encendida recirculando el líquido hasta que las camas adquieran la humedad necesaria para el mantenimiento de las plantas. Con esta recirculación del líquido se obtendrá la aereación del mismo la cual permite la oxigenación de las plantas.

Como el líquido se está recirculando, no es necesario llenar las camas con éste, ya que el continuo paso del mismo humedecerá el tezontle y la humedad pasará a la agrolita, es entonces cuando se apagará la motobomba. Sin embargo, para que esto suceda, la solución que está circulando debe cubrir la capa de tezontle, por lo que se debe calcular el volumen del -- tanque de almacenamiento. Este volumen es igual al volumen - de la porción de la cama que es rellenado con tezontle menos el volumen que ocupa el mismo. En este caso se tienen dos camas de 1m X 2m y dos de 0.5m X 2m con capas de 5cm de tezontle. Si las consideramos como tres camas de 1m X 2m y suponemos que el tezontle ocupa el sesenta por ciento del volumen de la capa:

$$V_{\text{capa}} = 1\text{m} \times 2\text{m} \times 0.05\text{m} = 0.1\text{m}^3$$

$$V_{\text{tezon.}} = 0.6 \times 0.1\text{m}^3 = 0.06\text{m}^3$$

$$V_{\text{liq.}} = 0.4 \times 0.1\text{m}^3 = 0.04\text{m}^3 = 40\text{lt}$$

Como se consideran tres camas se necesitará un tanque de 120 litros más el líquido que esté en las tuberías. Se propone un tambo de 200 litros que se llene con un diez por ciento más del volumen de solución nutritiva antes mencionado para asegurar que la bomba siempre esté cebada.

Para que la motobomba funcione conforme a esta explicación se pueden utilizar diversos circuitos para su encendido y apagado, algunos de los cuales son presentados a continuación.

#### a) CIRCUITO REALIZADO CON TRANSISTORES:

En este circuito la humedad es sensada mediante dos - electrodos: A y B de la figura 2.4. Estos permitirán el paso de cierta corriente cuya cantidad dependerá - del medio que los separe. Cuando se trate de un medio no conductor, es decir cuando las camas estén secas , no circulará corriente entre ambos electrodos, esto - ocasionará que ninguna corriente circule entre base y emisor de  $Q_1$  por lo que estará en corte y la corriente fluirá hacia la base de  $Q_2$ . Por consiguiente la - tensión aplicada entre la base y el emisor de  $Q_2$  será muy débil, de forma que también esté en corte. Ninguna corriente circulará entonces del colector hacia el emisor, la bobina estará desenergizada y los contactos

normalmente cerrados encenderán la motobomba.

Si por el contrario, las camas están húmedas: los electrodos permitirán el paso de corriente de uno a otro, el transistor  $Q_1$  se saturará, casi ninguna corriente circulará hacia la base de  $Q_2$ , incrementándose así la tensión entre base y emisor del mismo provocando que se sature, se energizará la bobina abriendo el circuito de la motobomba apagándola.

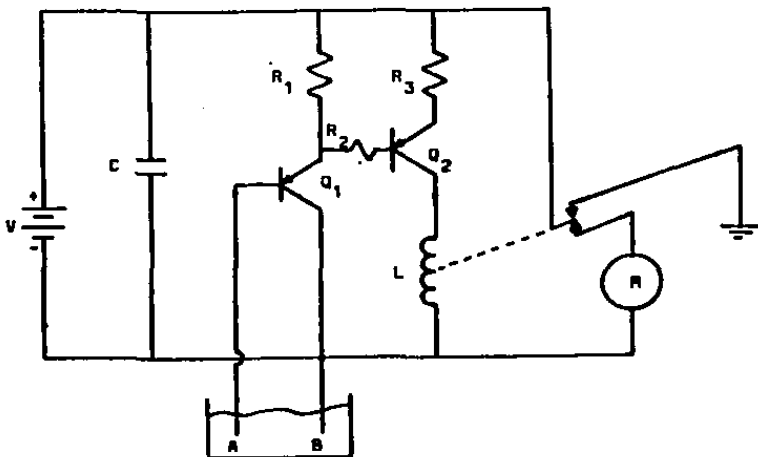


FIG. 2.4 CIRCUITO REALIZADO CON TRANSISTORES PARA CONTROLAR EL RIEGO<sup>(3)</sup>

(3) PHILLIPS "Electronic Engineer (Libro de Instrucción)" p.69.

A continuación se explican otros circuitos que al igual que - éste accionan la motobomba conforme al funcionamiento deseado, pero a diferencia del anterior así como del funcionamiento -- propuesto poseen una protección para que no se encienda la mo tobomba si el tanque de almacenamiento está vacío para evitar que ésta se quemé.

#### b) CIRCUITO REALIZADO CON COMPUERTAS LOGICAS

En este sistema las camas cuentan con dos electrodos- que registran la cantidad de humedad que poseen, mien- tras que el tanque de almacenamiento tiene un micro-- switch accionado por un flotador que registra el nivel de agua del mismo como se muestra en la figura 2.5. - Ambas informaciones son traducidas en voltaje y envia- das a las compuertas lógicas que condicionan el fun-- cionamiento de la motobomba.

Cuando el tanque no contiene la cantidad de solución- suficiente para regar las camas, el microswitch esta- rá normalmente abierto, enviando una señal de cero -- volts, en caso contrario se enviarán cinco Volts. Así mismo, si las camas no cuentan con la humedad neces- aria no existirá el medio de conductividad requerido - para que los electrodos conduzcan, teniéndose como re sultado cero Volts; en cambio, si se tuviera determi- nada humedad, los electrodos conducirían enviando una señal de cinco Volts.

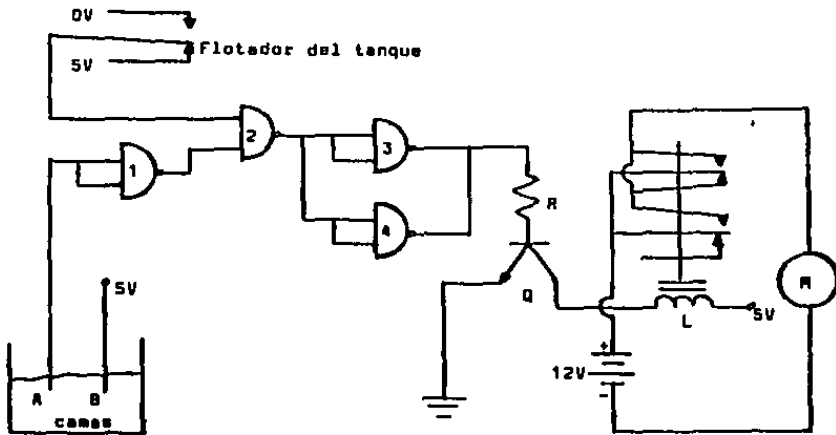


FIG. 2.5 CIRCUITO PARA CONTROLAR EL RIEGO REALIZADO CON COMPUERTAS LOGICAS<sup>(4)</sup>

En la figura 2.5, si el tanque está vacío una entrada de la compuerta 2 estará a cero Volts, por lo que a la salida se tendrán cinco Volts sin importar el estado de la otra entrada ya que es una compuerta NAND. - Es decir, siempre que el depósito de la solución esté vacío a la salida de la compuerta 2 se tendrán cinco volts. Este voltaje es el de las entradas de las compuertas 3 y 4 que además de actuar como inversores son reforzamientos para aumentar el amperaje, por lo que-

(4) Control de Nivel diseñado por CICASA, S.A. Modificado por el tésiste

si a la entrada se tienen cinco Volts, a la salida habrá cero Volts, lo que ocasiona que el transistor esté en corte y la motobomba apagada.

En caso contrario, si el tanque está lleno, una entrada de la compuerta 2 estará en estado alto (5V), por lo que la salida de la misma dependerá de la otra entrada, que es la salida de la compuerta 1. Si las camas están secas se tendrán cero Volts en ambas entradas de la compuerta 1 y cinco Volts en su salida. Por consiguiente a la salida de la compuerta 2 también se tendrán cero Volts y a las salidas de las compuertas 3 y 4 se tendrán cinco Volts, lo que ocasiona que el transistor Q se sature y se energice la bobina 2 que cambiará el estado de los interruptores del relevador cerrando el circuito que enciende la motobomba.

En cambio, si las camas poseen la humedad suficiente, las entradas de la compuerta 2 serán cinco Volts, su salida cero Volts, la salida de la compuerta 2 será cinco Volts, la salida de las compuertas 3 y 4 tendrá un estado bajo (0V), el transistor estará en corte, la bobina desenergizada y la motobomba apagada; cumpliéndose así con el funcionamiento propuesto anteriormente.

c) CIRCUITO REALIZADO CON UN COMPARADOR:

En este sistema las camas cuentan con dos electrodos-

que registran la humedad que poseen, mientras que el tanque de almacenamiento tiene un microinterruptor accionado por un flotador que registra el nivel de agua o solución nutritiva del mismo.

En la figura 2.6 cuando el tanque de almacenamiento no contiene la cantidad de líquido suficiente para regar las camas, el microinterruptor estará normalmente abierto, enviando una señal de cero Volts; en caso contrario se enviarán cinco Volts. Así mismo, cuando las camas cuentan con la humedad suficiente, ésta permitirá que los electrodos conduzcan suministrándole así una corriente en la base del transistor  $Q_1$ . En el caso contrario, cuando las camas están secas, no habrá corriente en la base de  $Q_1$ .

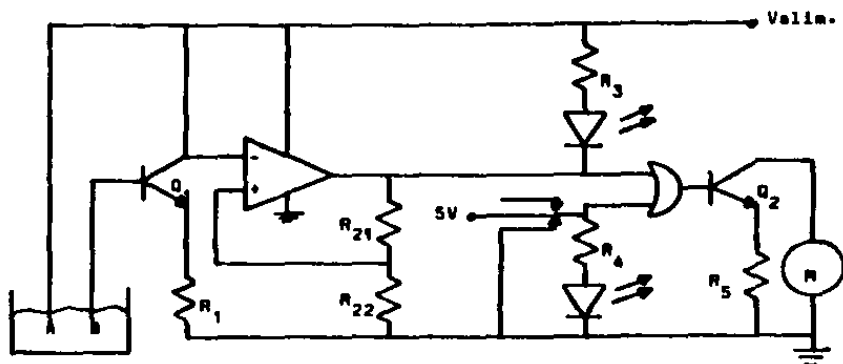


FIG. 2.6 CIRCUITO PARA CONTROLAR EL RIEGO REALIZADO CON UN COMPARADOR



Al estar húmedo el recipiente que se quiere controlar (cama), los electrodos conducen y llega la corriente necesaria a la base de  $Q_1$  para saturarlo. Esto ocasiona que el voltaje en la terminal inversora sea muy pequeña (cercano a cero Volts), teniendo a la salida del comparador un voltaje igual al voltaje de alimentación entre dos, ya que se tiene un divisor de tensión con ambas resistencias  $R_2$  iguales.

Conforme se van secando las camas, la corriente de la base de  $Q_1$  disminuirá, incrementándose así el voltaje en la terminal inversora. Cuando el voltaje de esta terminal es igual al voltaje de la no inversora ( $V_{al}/2$ ), a la salida del comparador tendremos cero Volts; por lo tanto el voltaje en la no inversora será también cero Volts.

Veamos ahora qué sucede con el tanque de donde toma el agua la bomba. Cuando el tanque está vacío el microinterruptor se conecta al voltaje de alimentación y enciende un LED  $L_1$  que indica que la motobomba no puede ser encendida. En el caso en que contenga agua, el LED estará apagado y el interruptor estará conectado a tierra.

Suponiendo el caso de que el tanque está lleno, una entrada de la compuerta será cero lógico, por lo que la salida de la misma dependerá de la salida del amplificador.

Si a la salida del comparador tenemos el voltaje de alimentación, a la salida de la compuerta habrá un uno lógico que proporcionará corriente a la base del transistor, saturándolo y por tanto no fluirá corriente hacia la motobomba.

Si por el contrario, a la salida del comparador tenemos cero Volts, se encenderá un LED  $L_2$  que indica que las camas están secas. La salida de la compuerta no podrá saturar al transistor por lo que la corriente circulará hacia la motobomba.

Ahora bien, suponiendo el caso de que el tanque esté vacío, una entrada de la compuerta será un uno lógico y la salida de la misma también será un uno lógico sin importar la salida del amplificador. En este caso el transistor estará saturado y la motobomba no encenderá, realizando así el funcionamiento deseado.

"En la actualidad la familia de dispositivos pnpn se está utilizando cada vez más para el control de reguladores y de motores; esto es debido, entre otras cosas, a la potencia que manejan y a su velocidad de conmutación."<sup>(5)</sup> Para el control de riego del invernadero en cuestión se propone un circuito realizado con dos dispositivos de esta familia: un SCR (rectificador controlado de silicio) y un PUT (transistor de monojun

(5) TORRES, H.J., "Apuntes de Temas Selectos de Electrónica" Dispositivos PNPn.

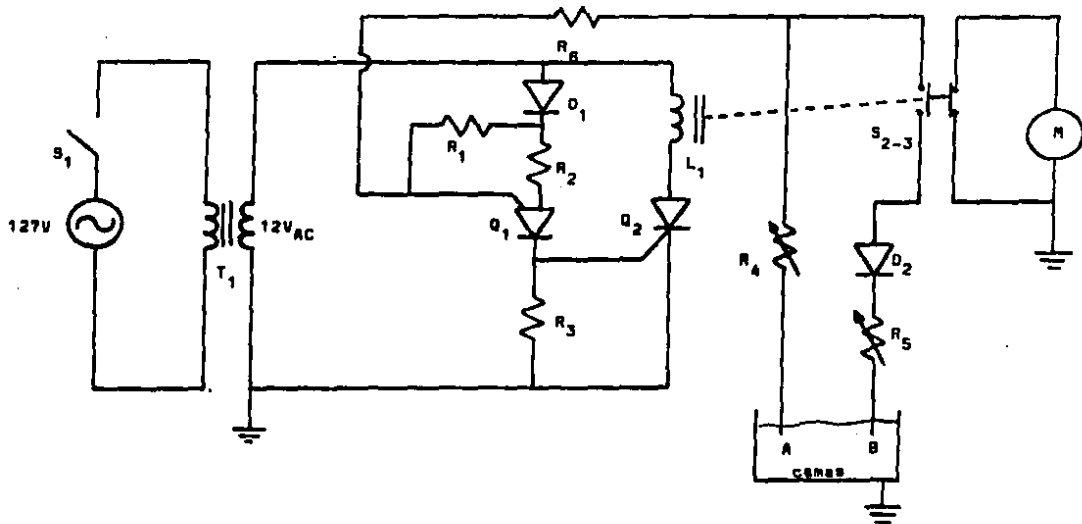


FIG. 2.7 CIRCUITO PROPUESTO PARA EL CONTROL DE RIEGO

tura programable). Sin embargo, cualquiera de los circuitos- recientemente explicados puede utilizarse, como se mencionó - anteriormente. La figura 2.7 presenta el circuito finalmente propuesto, en el que existen los siguientes componentes:

#### Resistencias y potenciómetros:

- R<sub>1</sub>**.- Resistencia de carbón depositado.  
Valor Ohmico: 1ME  $\pm$  5% de tolerancia  
Máxima disipación a temperatura ambiente:  $\frac{1}{2}$  Watt.
- R<sub>2</sub>**.- Resistencia de carbón depositado.  
Valor Ohmico: 479E  $\pm$  5% de tolerancia  
Máxima disipación a temperatura ambiente:  $\frac{1}{2}$  Watt.
- R<sub>3</sub>**.- Resistencia de carbón depositado.  
Valor Ohmico: 1KE  $\pm$  5% de tolerancia  
Máxima disipación a temperatura ambiente:  $\frac{1}{2}$  Watt.
- R<sub>4,5</sub>**.- Potenciómetros rotativos.  
Valor resistivo máximo: 1ME.  
Máxima disipación a temperatura ambiente:  $\frac{1}{2}$  Watt.  
Tipo de flecha: metálica de 1"
- R<sub>6</sub>**.- Resistencia de carbón depositado.  
Valor Ohmico: 220KE  $\pm$  5% de tolerancia  
Máxima disipación a temperatura ambiente:  $\frac{1}{2}$  Watt.

#### Diodos:

- D<sub>1</sub>**.- Diodo rectificador desilicio BY127M  
Tensión inversa RMS máxima: 1250 V.  
Corriente máxima en sentido directo: 1 A  
Corriente máxima en sentido inverso: 10  $\mu$ A.

#### Dispositivos de cuatro capas:

- Q<sub>1</sub>**.- Transistor de monojuntura programable metálico 2N6116.  
Corriente en el punto pico máxima para R<sub>G</sub> = 1ME: 2 $\mu$ A.

Corriente de valle máxima para  $R_G=1ME$ :  $50\mu A$   
Corriente máxima de compuerta:  $5nA$

- $Q_2$ .- Rectificador controlado de silicio SKT 10/08  
Tensión pico inversa repetitiva: 800 V  
Corriente promedio en ambiente de conducción: 16 A  
Razón de aumento de la corriente máxima en estado de con  
ducción:  $150 A/\mu s$ .  
Valor de cresta máximo para corrientes transitorias: 140A

Elementos diversos:

- $S_1$ .- Interruptor de palanca de un polo un tiro.  
Corriente máxima: 2 A @ 125 V A.C.

- $T_1$ .- Transformador.  
Voltaje en el secundario: 12 V A.C.  
Voltaje en el primario: 127 V A.C.

- $S_{2-3}$ .- Relevador.

### 2.3 ANALISIS DEL FUNCIONAMIENTO DEL CIRCUITO PROPUESTO

En el inciso anterior se propuso un circuito que realiza el control del sistema de riego para el invernadero seleccionado. Para verificar que el circuito lleve a cabo el funcionamiento deseado, a continuación se analizará el comportamiento del mismo.

Supondremos que en un principio las plantas necesitan regarse, es decir que las camas están secas. Se tienen dos electrodos A y B, el primero determinará el grado de humedad máximo que tendrán las camas, y el segundo determinará el mínimo que soportan sin secarse; como las plantas necesitan diferente cantidad de agua según su especie y tamaño, estos grados de humedad pueden ajustarse mediante los potenciómetros  $R_4$  y  $R_5$  respectivamente.

Al no haber la humedad suficiente no existirá el medio conductor adecuado para que circule una corriente por los electrodos hacia tierra, estando así el circuito abierto, por lo que la bobina  $L_1$  estará desenergizada, el interruptor  $S_2$  abierto y  $S_3$  cerrando el circuito que acciona la motobomba que proporcionará el riego.

Conforme se van mojando las camas, el electrodo B permitirá el paso de corriente; sin embargo, como el interruptor  $S_2$  se encuentra abierto, el circuito también lo estará, teniendo la misma situación que en el caso anterior. Cuando la humedad -

llegue a su nivel máximo, el circuito se cerrará a través del electrodo A, entonces circulará una corriente por  $R_1$  y  $R_2$  que hará conducir el PUT  $Q_1$ , éste alimentará la compuerta del SCR  $Q_2$  disparándolo durante el semiciclo positivo, ocasionando que se energice la bobina del relevador por lo que el interruptor  $S_2$  cambiará su estado a "cerrado", el electrodo B se aterrizará y  $S_3$  se abrirá, apagando así la motobomba. Durante el semiciclo negativo  $Q_2$  dejará de conducir durante un tiempo muy pequeño ya que al llegar el semiciclo positivo se vuelve a disparar.

Al irse secando las camas, el electrodo A dejará de conducir, quedando como una punta al aire, pero el electrodo B seguirá conectado a tierra cerrando el circuito, por lo que la motobomba estará apagada hasta que la humedad llegue a su mínimo y dicho electrodo deje de conducir, repitiéndose así el ciclo.

Este funcionamiento corresponde al sistema propuesto; sin embargo, se le puede colocar una protección para que se encienda la motobomba si el tanque de almacenamiento está vacío, como en los circuitos explicados anteriormente. Para este sistema dicha protección no es tan necesaria ya que como el agua se estará recirculando es difícil que el tanque esté vacío, por lo que para simplificar y economizar el sistema, aquí se omitió.

Verifiquemos ahora si los componentes elegidos son los adecuados:

El Transistor de Monounión Programable (PUT) es un dispositivo

de cuatro capas con una compuerta conectada a una de las capas tipo n, en la que un divisor de voltaje externo propuesto por el diseñador, establece el voltaje de disparo. Cuando el voltaje del ánodo es menor que  $V_G$  el dispositivo está apagado, y por el contrario, cuando el ánodo es más positivo que el voltaje en la compuerta, el dispositivo conduce existiendo un valor entre ánodo y cátodo típico de alrededor de 1 Volt.

En la figura 2.7 el divisor de tensión está formado por  $R_1$  y  $R_{4,5,6}$  y la resistencia de las capas  $R_C$ , teniéndose el voltaje de compuerta determinado por:

$$V_G = \frac{(12V - 0.7V)(R_6 + R_4 // R_5 + R_C)}{(R_6 + R_4 // R_5 + R_C) + R_1} \quad (2.1)$$

Considerando que las capas están húmedas,  $R_C$  es despreciable, y de acuerdo a la ecuación 2.1, se tienen los siguientes casos críticos:

a)  $R_4 = R_5 = 1ME$ :

$$V_G = \frac{(11.3V)(2.22ME)}{3.22 ME} = 7.79 V$$

b)  $R_4 = R_5 = 0$ :

$$V_G = \frac{(11.3V)(0.22ME)}{1.22 ME} = 2.03 V$$

Para ahora calcular el voltaje en el ánodo, es necesario conocer la corriente; para calcularla consideremos el voltaje entre ánodo y cátodo igual a un Volt y que la corriente que fluye



ye hacia la compuerta del SCR es muy pequeña, por lo que:

$$I_A = \frac{V_{lim} - V_D - V_{AK}}{R_2 + R_3} \quad (2.2)$$

Sustituyendo los valores propuestos se tiene  $I_A = 7\text{mA}$ ; por lo que el voltaje de ánodo es igual a:

$$V_A = R_2 I_A = 3.29\text{V} \quad (2.3)$$

Se observa que el valor de este voltaje se encuentra entre los valores críticos obtenidos de la fórmula 2.1. Para que el PUT se dispare en necesario ajustar  $R_4$  y  $R_5$  de acuerdo a la resistencia que exista en las camaras cuando tengan la humedad necesaria.

Pasemos finalmente a analizar el SCR. El SCR es el dispositivo dentro de la familia de dispositivos pnpn, más utilizados, es un rectificador de silicio con una tercera terminal para controlarlo, llamada compuerta. Para establecer la conducción en el sentido directo, el ánodo deberá ser positivo respecto al cátodo y un pulso de suficiente amplitud debe aplicarse a la compuerta para encenderlo.

En nuestro circuito, el cátodo está conectado a tierra mientras que el voltaje del ánodo es el voltaje de alimentación, menos el voltaje que se cae por la bobina del relevador, el cual es menor al de alimentación, por lo tanto,  $V_A$  es mayor que  $V_K$ , cumpliéndose así la primera condición. El voltaje en la compuerta está dado por:

$$V_{G2} = I_A R_B = 7\text{V}$$

Con este voltaje el SCR conducirá durante el semiciclo positivo y la bobina se energizará apagando la motobomba cuando exista la suficiente humedad.

Por último, cabe mencionar que el diseño del circuito con las camas conectadas a tierra y no a voltaje, es una protección para quien labore en las mismas, ya que así cualquier descarga se hará a través de éstas.

## CAPITULO 3

### CONTROL DE TEMPERATURA Y HUMEDAD

#### 3.1 RANGOS DE TEMPERATURA Y HUMEDAD NECESARIOS

Uno de los factores más importantes en el crecimiento de las plantas es la temperatura. En el primer capítulo se mencionaron los tres rangos de temperatura ideales de acuerdo a la especie de la planta en cuestión. La mayoría de las hortalizas que aquí se proponen corresponden a plantas tropicales, - por lo tanto se tratará de mantener el invernadero a una temperatura entre 24° y 32°C.

Otro aspecto importante a considerar es la cantidad de humedad del medio ambiente. Si existe demasiada humedad las plantas utilizarán una reducida cantidad de energía solar para - realizar su transpiración y no podrán llevar a cabo la fotosíntesis; en cambio, si el lugar es muy seco, las plantas podrán secarse. Por lo tanto, es necesario mantener cierto grado de humedad. Se ha demostrado que con un buen control de temperatura se puede eliminar el control de humedad, ya que el primero la mantendrá en un nivel adecuado.

Como se tienen dos niveles de temperatura (máximo y mínimo), se tendrán dos sistemas de control: enfriamiento cuando la -

temperatura exceda a treinta y dos grados centígrados, y calefacción cuando la temperatura sea menor a veinticuatro gr dos centígrados.

### 3.2 ENFRIAMIENTO

Existen diversos métodos o sistemas de enfriamiento que pueden utilizarse en un invernadero; sin embargo, el que más se utiliza es la ventilación, ya que no solamente limita la elevación de la temperatura del aire producida por el calor solar, sino que además sirve para abastecer de dióxido de carbono al invernadero y para reducir la humedad procedente de la transpiración de las plantas.

La concentración normal de dióxido de carbono en el aire puede reducirse considerablemente si se limita el suministro a las plantas como consecuencia de una ventilación deficiente. Se ha demostrado que se produce una reducción del 10% en la concentración de dióxido de carbono, durante épocas soleadas, cuando se utilizan ventiladores únicamente en el tejado. Esta reducción se debe al efecto combinado de la tasa de ventilación de todo el invernadero y la cuantía del movimiento del aire cercano a las plantas. No se conoce con exactitud la reducción que provoca la fotosíntesis, aunque se estima que oscila entre el 5 y el 15%, y que no se reduciría seriamente si durante las épocas de sol el ritmo de ventilación fuese de por lo menos 124 m<sup>3</sup>/hora por metro cuadrado de terreno, o menor en días nublados<sup>(1)</sup>. Generalmente el nivel de ventilación preciso para controlar la temperatura lo es también para suministrar el dióxido de carbono necesario.

(1) TODVEY, F.W. "Invernaderos Comerciales: Construcción y Calefacción" p.59.

Durante los días luminosos resulta muy importante mantener - el invernadero fresco, siendo necesario renovar el aire con mayor frecuencia. La elevación que, tanto de temperatura como de humedad, se produce en los invernaderos durante estos días se debe a las radiaciones solares. Una cuarta parte -- aproximadamente de las radiaciones que llegan a las plantas del invernadero son reflejadas por las hojas, que absorben casi la totalidad de las radiaciones restantes. Esto produce una elevación de la temperatura de las hojas y por consiguiente del aire existente en su entorno, aunque esta elevación de temperatura se ve limitada por la evaporación del agua que se produce durante el proceso de la transpiración y que es capaz de absorber una proporción considerable del calor radiante. La cantidad de hojas que tienen las plantas en el invernadero es variable, y por consiguiente la proporción de radiaciones solares absorbidas, tanto por elevación de temperatura como por la transpiración, que puede oscilar entre una -- cuarta parte y la mitad de las que entran al invernadero. La cantidad de radiaciones utilizadas para la fotosíntesis es muy reducida.

La efectividad con que la ventilación suministra dióxido de carbono, y disminuye la temperatura y humedad, depende de la relación existente entre la tasa de entrada o salida de aire del invernadero y la superficie de tierra cubierta por la estructura; por ejemplo,  $2.1\text{m}^3/\text{min}$  por metro cuadrado de terreno serán suficientes para proporcionar condiciones adecuadas para el buen crecimiento de las plantas durante un día soleado

do de verano. Esto puede conseguirse con ventiladores situados a todo lo largo del techo abiertos sobre el nivel de la horizontal, en invernaderos construidos de la forma de la figura 1.1 (a).

Los ventiladores pueden clasificarse en tres grupos (2) de acuerdo con su diseño y distribución. El tipo tradicional de ventilador consiste en un bastidor unido mediante bisagras a la cumbre del techo y forrado con plástico o encristalado con dos o tres cristales. Los ventiladores se distribuyen alternados a cada lado de la cumbre del techo y a lo largo de ella, de modo que frente a cada ventilador exista un plástico o cristal fijo. Con todos los ventiladores abiertos y el viento soplando perpendicularmente a ellos se produce una corriente constante de aire. Sin embargo, este tipo de ventiladores no es muy eficaz durante las épocas de calma ya que la longitud total de los mismos situados a cada lado del techo es menor que la mitad de la longitud total del invernadero.

Los ventiladores del segundo tipo son similares, aunque distribuidos uno frente al otro, por lo que su longitud total a cada lado es mayor que la mitad de la longitud del edificio. Esta distribución es mejor cuando el viento está en calma y apropiada cuando la ventilación no supone un problema grave.

El ventilador del tercer tipo consiste en una mejora del se-

(2) FOOTEY, F.W. "Invernaderos Comerciales: Construcción y Calificación" p.63.

gundo, se trata de un ventilador continuo a todo lo largo del techo, excepto una pequeña porción de cada extremo, que suele dejarse cerrado para reducir el riesgo de que se produzcan daños a consecuencia de vientos fuertes. Este último tipo es el mejor cuando el viento está en calma.

Para la selección del ventilador se considera el que provee una mejor ventilación durante el tiempo en el que el viento está en calma, ya que durante el verano mantener una ventilación adecuada con este tipo de viento es muy difícil. Esto se debe a que entonces se depende enteramente de la elevación del aire caliente dentro del invernadero para promover el intercambio con el aire más fresco del exterior. En estas condiciones se precisan ventiladores laterales además de los del techo para aprovechar al máximo el efecto chimenea, mediante el cual el aire más caliente se eleva para salir a través de los ventiladores del techo, mientras el aire más fresco procedente del exterior penetra por los ventiladores laterales.

#### **DISPOSITIVOS Y SISTEMAS PARA ACCIONAR LOS VENTILADORES Y SELECCION DE LOS MISMOS**

Los ventiladores pueden estar situados en la cumbre del techo, paredes laterales y extremos del invernadero, y suelen consistir en bastidores de madera que se accionan mediante un tirante y un pasador o con una polea y una cuerda.

Los ventiladores del techo pueden accionarse mediante una varilla o cable corrido a lo largo del edificio, al que van uni



dos los brazos de levantamiento de todos los ventiladores. - El mecanismo de elevación es variable, aunque los más eficaces son los que proporcionan un empuje vertical, que disminuye el peligro de deformación de los mismos. El movimiento de la varilla y la abertura de los ventiladores se regula mediante una cadena y una palanca montadas en un extremo del invernadero.

Los ventiladores laterales suelen accionarse mediante levas-articuladas en un extremo del ventilador, uniéndose el otro extremo a una varilla que va a lo largo del edificio. La varilla gira mediante un engranaje helicoidal que va unido a uno de sus extremos. Este tipo de ventiladores deben situarse lo más bajo posible.

Otro mecanismo que se ha empezado a utilizar recientemente - consiste en un mecanismo de engranaje en cremallera. Posee un tubo giratorio provisto de piñones que van engranados con una cremallera en el ventilador, de modo que al girar los piñones sube o baja la cremallera.

En la actualidad la mayoría de los invernaderos se ventilan por el movimiento natural del aire que penetra a través de los ventiladores accionados a mano; aunque existen métodos de ventilación automática, que permiten una regulación más exacta de la temperatura y son los más apropiados para lograr el objetivo del presente estudio.

A continuación se explican los dos métodos de ventilación au

tomática más utilizados en invernaderos comerciales.

a) MANEJO AUTOMÁTICO DE VENTILADORES CON BISAGRAS:

Un sistema de ventilación automática puede dividirse en dos secciones diferentes<sup>(3)</sup>, el equipo mecánico - para abrir y cerrar los ventiladores y el sistema de control necesario.

**Manejo mecánico de los ventiladores:** Se utilizan diversos mecanismos para accionar los ventiladores, -- unos funcionan mediante tracción longitudinal y otros actúan mediante un movimiento rotatorio, como es el caso del sistema de cremallera.

La fuerza motriz que acciona los ventiladores puede proceder de motores eléctricos, gatos neumáticos o hidráulicos, aunque el motor eléctrico presenta tantas ventajas que es casi el único utilizado.

Los ventiladores de muchos invernaderos tradicionales funcionan mediante una varilla de tracción unida a una palanca manual mediante un cable o cadena. El manejo mecánico de un cierto número de líneas de ventiladores puede lograrse utilizando éste u otros mecanismos, enrollando los cables alrededor de un tubo giratorio o sujetando los cables individuales a cables portadores que van a lo largo del frente del invernadero.

(3) TODVEY, F.W. "Invernaderos Comerciales: Construcción y Calefacción"- p.66.

dero. Por lo general, es más fácil instalar un sistema gobernado por cable que un procedimiento que requiera cojinetes alineados perfectamente, y con los cables que accionan cada línea de ventiladores unidos por un extremo a una palanca manual y por otro al cable portador, pueden mantenerse cerradas algunas líneas de ventiladores quitando los pasadores de anclaje de las palancas correspondientes.

El tubo giratorio del mecanismo de ventilación según el sistema de cremallera puede ser accionado, directa o indirectamente, mediante un motor eléctrico, que acciona conjunta o independientemente los ventiladores de ambos lados del tejado y en caso de necesidad se pueden accionar todos los ventiladores.

La potencia que ha de tener el motor eléctrico se determina siempre en función del peso de los ventiladores y de la velocidad de apertura. No es necesario que se abran con rapidez, ya que puede conseguirse un buen control de la temperatura cuando los ventiladores tardan en abrirse totalmente de 5 a 10 minutos estando completamente cerrados. Con esta velocidad de apertura un motor de 1/8 de caballo puede accionar los ventiladores de un invernadero de 400 metros cuadrados, aunque la potencia del motor variará con las condiciones reales.

En caso de fallas eléctricas o mecánicas de la insta

lación automática se tendrá previsto el poder accionar los ventiladores a mano.

Control automático del mecanismo: Un procedimiento de control que mantenga los ventiladores totalmente abiertos o cerrados es inferior al que puede conseguirse manualmente. Es preferible un control graduado que permita a los ventiladores estar totalmente cerrados, un cuarto, un medio, tres cuartos o totalmente abiertos, ya que las diferencias totales en la temperatura del aire teniendo los ventiladores completamente cerrados o abiertos puede superar los 8°C. El control modulado o proporcional permite un control exacto de la temperatura del aire con relación al valor deseado. "El control proporcional puede lograrse con diversos mecanismos, aunque el empleo de uno que consta de un termostato de resistencia y de un regulador electrónico resulta a un precio razonable, y al carecer de partes móviles, se adapta a las condiciones del invernadero"<sup>(4)</sup>. Con este mecanismo un cambio en la temperatura del aire produce un cambio en la resistencia del termostato, que se traduce en un desequilibrio eléctrico en la caja reguladora, que al ser amplificado es suficiente para poner en funcionamiento un relevador que regula el motor eléctrico que mueve el mecanismo de ventilación, el cual a su

(4) TODVEY, F.W. "Invernaderos Comerciales: Construcción y Calefacción" - p.88.



- $b_1$  (señal de retroalimentación primaria).- temperatura existente en el invernadero, sensada por el elemento de retroalimentación  $h_1$ .
- $h_1$  (elemento de retroalimentación).- elemento que determina la señal de retroalimentación primaria, también llamado elemento sensor.
- $g_{1-4}$  (elementos de control).- Componentes requeridos para abrir o cerrar las ventanas y generar la señal de control apropiada a o temperatura deseada que se aplica al proceso.
- $g_5$  (proceso).- Lugar que se ventilará, es decir el invernadero.
- $h_2$  (elemento de retroalimentación 2).- Componente necesario para establecer la relación entre la abertura de las ventilas y la señal de retroalimentación 2.
- $b_2$  (señal de retroalimentación 2).- Señal que indica qué tan abiertos están los ventiladores.
- $c$  (salida controlada).- Temperatura actual en el invernadero.
- $e_1$  (señal de error 1).- Señal generada por la caja reguladora o punto de suma formado por la entrada de referencia y la señal de retroalimentación primaria.
- $e_2$  (señal de error 2).- Señal generada por el punto de suma formado por ambas señales de retroalimentación.
- $e_3$  (señal de error 3).- Señal generada por el punto de suma formado por las dos señales de error anteriores, teniéndose tres casos:
  - 1)  $e_3 > 0$  El motor girará de tal forma que abra los ventiladores.
  - 2)  $e_3 < 0$  El motor girará de modo que cierre los ven

tiladores.

- 3)  $\sigma_3 = 0$  El motor no girará porque la temperatura en el invernadero es adecuada o porque los ventiladores están completamente abiertos o cerrados.

b) EXTRACTORES DE AIRE:

Otro método de la ventilación automática consiste en la combinación de entradas de aire y extractores eléctricos, los cuales pueden ser colocados en diferentes posiciones.

Se ha descubierto que, colocando una entrada de aire sobre una puerta de acceso y el extractor sobre la opuesta, se crea un tiro de aire a lo largo del invernadero y por encima de las plantas, dejando una bolsa de aire en reposo en la parte inferior del invernadero.

Con esta colocación se debe instalar cierto número de extractores bastante próximos para lograr que el movimiento del aire sea uniforme, sobretodo en el entorno de los mismos. Se recomienda que los extractores sean de velocidad variable para ajustarlos según las necesidades de ventilación, si esto no puede llevarse a cabo, la regulación de la temperatura se logra conectando los extractores y ajustando la abertura de las entradas de aire.

Con este método de ventilación se logra un ahorro considerable eliminando los ventiladores con bisagras; además, es posible refrigerar el aire que entra al evaporar la humedad. Esto puede conseguirse mediante una fina pulverización de agua o haciendo pasar el aire a través de virutas de madera que se mantienen humedecidas. Este procedimiento resulta muy eficaz cuando la humedad es reducida, aunque no lo es tanto si la humedad es elevada.

Además, y teniendo en cuenta que la temperatura de las plantas es más importante que la del aire, la atmósfera fresca y húmeda que proporciona el sistema que se acaba de describir puede resultar menos eficaz para refrigerar las plantas que el aire seco y más templado procedente de la ventilación sin agua, si las plantas se encuentran humedecidas; y como en los invernaderos de la Ciudad de México generalmente la temperatura es tan elevada que provoca una constante transpiración de las plantas, es preferible el empleo de extractores únicamente.

De los sistemas antes descritos la utilización de extractores de aire es el más recomendado para el invernadero propuesto debido a la facilidad de su instalación así como a su costo.

Para evitar que se forme una bolsa de aire en la parte inferior de invernadero, a la altura de las plantas, se sugiere



colocar el extractor al frente del invernadero, arriba de la puerta, y las entradas de aire en la parte posterior a la altura de las plantas. El extractor deberá ser capaz de sacar  $32 \text{ m}^3$  de aire por minuto para asegurar la buena ventilación en los días calurosos, y será accionado automáticamente por un circuito electrónico que se explicará posteriormente. Las ventilas permanecerán cerradas y ellas mismas se abrirán en el momento de encender el extractor.

Si analizamos este sistema mediante un diagrama de bloques - (figura 3.2) observamos que es un sistema de lazo cerrado, - en el que:

- $r$  (entrada de referencia).- Referencia de la máxima temperatura del invernadero.
- $g_{1-2}$  (elementos de control).- Componentes requeridos para generar la señal de control apropiada a la temperatura deseada que se aplicará al proceso.
- $m$  (señal de control o variable manipulada).- Señal que se aplica directamente al proceso.
- $g_3$  (proceso).- Lugar que se enfriará: invernadero.
- $h$  (elemento de retroalimentación primaria).- Componente necesario para establecer la relación entre la variable manipulada y la señal de retroalimentación  $b$ .
- $b$  (señal de retroalimentación primaria).- Señal determinada por la temperatura actual en el invernadero.
- $e$  (señal de error o señal impulsora).- Señal que hará que el circuito de control encienda el extractor de acuerdo a las siguientes condiciones:

- 1) Si  $e \geq 0$  la temperatura en el invernadero es menor o igual a la temperatura deseada, por lo que el extractor

estará apagado.

2) Si  $e < 0$  la temperatura deseada es menor que la temperatura dentro del invernadero, por lo que el circuito de control deberá encender el extractor y éste permanecerá así hasta que  $e \geq 0$ .

-  $c$  (salida controlada).- Temperatura actual en el invernadero.

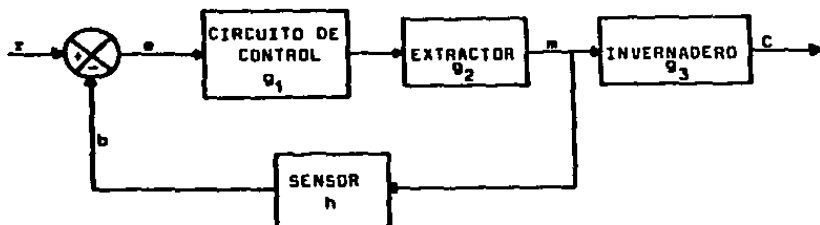


FIG. 3.2 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO PROPUUESTO

Existen diversos circuitos que pueden hacer accionar al extractor de esta manera, algunos de ellos se explicarán posteriormente cuando se estudien los circuitos que harán funcionar la calefacción.

### 3.3 CALEFACCION

Para conseguir que los invernaderos rindan al máximo es necesaria la utilización de un procedimiento de calefacción artificial que sea capaz de mantener constante la temperatura interior exigida en toda la superficie cultivada, la cual debe estar regulada automáticamente mediante un termostato-sensible situado en un punto representativo del invernadero.

Existen diversos sistemas para proporcionar este tipo de calefacción, los cuales se dividen en tres grupos: por agua, por aire y sistemas eléctricos.

#### a) SISTEMAS DE CALEFACCION POR AGUA:

En este tipo de sistemas se tiene una red de tuberías uniformemente distribuidas en todo el invernadero por donde se hace circular agua previamente calentada en una caldera. La circulación puede llevarse a cabo por gravedad o con la ayuda de una motobomba<sup>(5)</sup>.

En las instalaciones del primer caso el agua circula, por lo general, en tubos de hierro fundido de 10 cm. de diámetro, por la diferencia que existe entre la densidad del agua caliente que sale de la caldera y del agua más fría que regresa, y por la diferencia de altura que existe entre la caldera y las tuberías de conducción. La instalación no depende-

(5) TOOVÉY, F.W. "Invernaderos Comerciales: Construcción y Calefacción"- p.72.

de energía exterior a ella o de motores, aunque para obtener una velocidad de circulación tolerable - las tuberías deberían tener un diámetro amplio para reducir la fricción, y la diferencia de altura entre la caldera y el circuito tiene que ser considerable. Este procedimiento presenta muchos inconvenientes que no lo hacen recomendable, por ejemplo la distribución de las tuberías suele estar condicionada a los requisitos precisos para conseguir una circulación eficaz del agua, y esto unido a la velocidad de circulación reducida, se traduce por una distribución desigual de la temperatura en los invernaderos.

Las instalaciones que funcionan a base de gravedad pueden mejorarse mucho acoplándoles una bomba que ayuda a circular al agua. Entonces la circulación no está subordinada a la posición de la caldera con respecto a las tuberías y, si se desea, pueden elevarse las calderas y disponer de tuberías de modo que no interfieran con los cultivos. Por lo general, estas modificaciones suelen ir acompañadas con la instalación de quemadores automáticos en las calderas para poder regular la producción de calor y mejorar el control de la temperatura del invernadero y aprovechar el combustible de modo más eficiente.

En los invernaderos comerciales actuales se utiliza un sistema similar al descrito anteriormente que --

consiste en una serie de circuitos de tubos de acero de pequeño diámetro unidos mediante soldaduras o roscas y que recorren el invernadero en toda su longitud. Las tuberías de flujo y de reflujo de cada circuito suelen ir muy juntas, su tamaño y el número de los circuitos vienen determinados por las necesidades de calor de salida y de un acoplamiento adecuado con la distribución de la plantación. Este es uno de los sistemas más utilizados ya que el costo de la red de tuberías suele ser la mitad de lo que costarían las tuberías de 10 cm de diámetro.

Dentro de los sistemas de calefacción por agua también se consideran aquellas en las que se hace circular vapor; por ejemplo un sistema de vapor a baja presión en el que éste se transporta desde la caldera a través de tuberías motrices previstas de aislamiento.- El flujo de vapor que llega a las tuberías radiantes se controla mediante una válvula con motor situada en la tubería de alimentación. Esta válvula funciona por electricidad y es regulada mediante un termotato sensible a la temperatura del aire en el interior del invernadero. La alimentación de vapor suele realizarse en un extremo del invernadero y atraviesa las tuberías radiantes, condensándose y cediendo calor según avanza. El agua condensada se recoge en el extremo del invernadero, opuesto a donde se encuentran las tuberías matrices. Las tuberías-

radiantes se disponen con una ligera pendiente que se inicia en las tuberías matrices cuya finalidad consiste en facilitar el drenaje del agua condensada hacia los colectores de condensado, para después ser bombeada de nuevo hacia la caldera. El inconveniente más importante de este procedimiento consiste en las variaciones de temperatura que se producen a lo largo del invernadero. La temperatura más elevada se consigue en el extremo más próximo a la tubería matriz de vapor, debido a que las tuberías radiantes se calientan progresivamente desde un extremo hacia el otro cuando reciben el vapor y se enfrían de un modo uniforme cuando se interrumpe el suministro de éste.

#### b) SISTEMAS DE CALEFACCION POR AIRE:

Los sistemas de calefacción por aire se clasifican según el lugar en donde se produzca el calor<sup>(6)</sup>; dentro del invernadero o en otro lugar y se transporte después al invernadero.

En la mayoría de los casos se produce calor en el interior del invernadero mediante intercambiadores de calor alimentados automáticamente por un quemador de petróleo o algún otro combustible, aunque existen los que se alimentan manualmente. Los pro-

(6) TODVEY, F.W. "Invernaderos Comerciales: Construcción y Calefacción" p.87.

ductos de la combustión van a parar siempre a la atmósfera, de modo que no existe peligro de que los humos contaminen el aire del invernadero. Casi todos los calentadores utilizan un ventilador para dirigir el aire hacia el intercambiador de calor y lanzarlo después al ambiente del invernadero desde la parte superior del calentador. Con este tipo de sistema en invernaderos pequeños, se invierte bastante menos capital que en una instalación de tuberías con sólo una caldera.

Cuando la producción de calor se efectúa en el exterior, se conduce como vapor o agua caliente hasta intercambiadores de calor situados en el interior del invernadero. Mediante un ventilador se hace pasar el aire a través del intercambiador de calor y se distribuye por el invernadero. El calor puede producirse en una instalación de calderas y es distribuido en forma de vapor que no precisa realizar una inversión adicional, teniendo así un sistema bastante económico.

El aire caliente procedente de calentadores de aire alimentados directa o indirectamente (dentro o fuera del invernadero), puede distribuirse mediante un ventilador desde el mismo calentador en el caso de alimentación directa, o ser conducido a través de tuberías.

La distribución sin tuberías es un procedimiento ba  
rato en el que generalmente no existe obstáculo den  
tro del invernadero. La uniformidad de distribución  
de la temperatura varía según el aparato que se uti  
lice, aunque siempre tenderá a disminuir al aumentar  
la distancia a la que se encuentre el calentador.-  
Además, como el aire caliente posee una tendencia -  
natural a elevarse este procedimiento determina gra  
dientes verticales de temperatura de modo que a la-  
altura del techo puede ser muy elevada y perjudicial  
para las plantas muy grandes.

En la distribución con tuberías, la conducción prin  
cipal a lo largo del invernadero suele construirse-  
de chapa metálica, que resulta relativamente cara.-  
Las conducciones secundarias son tubos de plástico  
desmontables, de paredes delgadas y perforadas en -  
toda su longitud, que se sujetan a tomas de la con-  
ducción principal provistas de válvulas de mariposa  
para regular el paso del aire a cada una de las con  
ducciones secundarias. Espaciando correctamente los  
orificios de las tuberías, y situándolos bien puede  
lograrse una distribución horizontal de la tempera-  
tura deseada.

#### C) SISTEMAS DE CALEFACCION ELECTRICA:

La electricidad puede utilizarse como sistema de ca  
lefacción según diversos procedimientos, aunque ac-



tualmente casi no se utiliza en invernaderos comerciales. Sin embargo, en invernaderos pequeños puede utilizarse satisfactoriamente.

Existen diversos tipos de calentadores en este sistema, entre los que más se utilizan se encuentran - calentadores tubulares impermeabilizados cuyo calor depende del voltaje aplicado en sus extremos. Estos calentadores no resultan muy costosos y pueden colocarse de modo que se obtenga una buena distribución de temperatura que además, es fácil de regular.

Otro tipo de calentadores de este sistema son los - realizados con resistencias eléctricas de cobre forrado. Estos son muy utilizados en invernaderos pequeños y para estructuras en las que no se precisen temperaturas internas elevadas.

Generalmente en los sistemas de calefacción eléctrica, un ventilador dirige el aire hacia un elemento-calentador, funcionando así como los sistemas de calefacción por aire con distribución sin tuberías.

En el invernadero propuesto se sugiere una combinación de - un sistema de calefacción por aire con uno eléctrico. Se propone un sistema que consiste en un ventilador que haga - pasar el aire a través de un calentador realizado con resistencias eléctricas para que posteriormente el aire caliente

pase a un cilindro de plástico con perforaciones uniformemente espaciadas que lo distribuirán en todo el invernadero.

Se propone este sistema debido a su costo reducido, a su buen funcionamiento en invernaderos pequeños y a la facilidad en su instalación, ya que el ventilador y calentador existen comercialmente en un solo módulo, similar a los secadores para manos pero de dimensiones mayores, y el cilindro de plástico se puede realizar con tubos de polietileno que existen en el mercado para hacer bolsas y no necesitan demasiados soportes para sostenerlos.

Si este sistema lo analizamos en el diagrama de bloques de la figura 3.3, observamos que es similar al sistema de ventilación propuesto. En esta figura:

- $r$  (entrada de referencia).- Referencia de la mínima temperatura del invernadero.
- $g_{1-3}$  (elementos de control).- Componentes requeridos para generar la variable manipulada  $m$  o temperatura que se aplicará al proceso.
- $m$  (variable manipulada o señal de control).- Señal que se aplica al proceso.
- $g_4$  (proceso).- Lugar que se calentará: invernadero
- $h$  (elemento de retroalimentación primaria).- Componente necesario para establecer la relación entre la variable manipulada y la señal de retroalimentación  $b$ .
- $b$  (señal de retroalimentación primaria).- Señal determinada por la temperatura actual en el invernadero.
- $c$  (salida controlada).- Temperatura actual del invernadero.
- $e$  (señal impulsora o señal de error).- Señal proveniente-

del punto de ajuste. Permitirá que el circuito de control encienda la calefacción de acuerdo a las siguientes condiciones:

- 1) Si  $e \geq 0$  la entrada de referencia o mínima temperatura permisible en el invernadero es mayor a la temperatura actual, por lo que el circuito de control encenderá el calentador y el ventilador para distribuir aire caliente al invernadero.
- 2) Si  $e < 0$  la temperatura en el invernadero es mayor a la temperatura de referencia por lo que se deberá apagar el calentador.

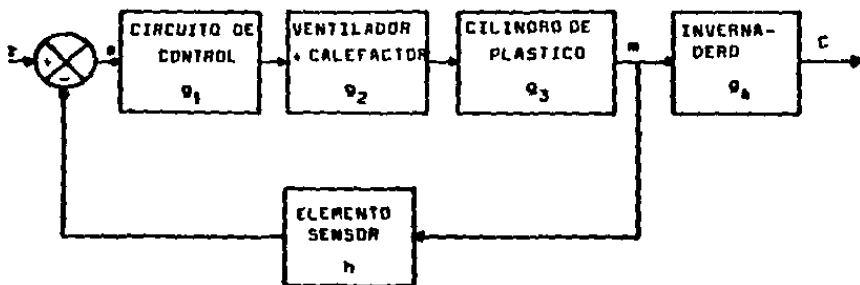


FIG. 3.3 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DE CALEFACCION PROPUESTO

Existen diferentes circuitos que pueden hacer que este sistema trabaje conforme al funcionamiento descrito, algunos de los cuales se analizarán posteriormente.

### 3.4 CIRCUITOS EXISTENTES PARA LA REGULACION DE TEMPERATURA Y SELECCION DEL MISMO

Para que el aire se mantenga a la temperatura que necesitan las plantas lo más constante posible, es necesario instalar una regulación de temperatura mediante un termostato que funcione ante la temperatura real del aire y no por el efecto-combinado de la temperatura del aire y del calor radiante - recibido o perdido, y utilizar un sistema que reaccione con rapidez ante cualquier cambio.

El único medio práctico de conseguir estos requisitos consiste en el empleo de un equipo de regulación automática, - que en líneas generales consta de un regulador sensible a - los cambios de temperatura que, ante un cambio de temperatura a partir de un valor preestablecido, acciona el equipo - para contrarrestar el cambio.

Existen dos tipos de reguladores: el "prendido-apagado" (ON-OFF) y el "proporcional" o "modulado". En el primero, el regulador adopta las posiciones de totalmente abierto o cerrado, es decir, prendido o apagado. El cambio de un extremo al - otro se produce cuando existe una diferencia de temperatura con la deseada en el valor establecido del termostato. En determinadas circunstancias es fácil que se produzcan amplias fluctuaciones con este sistema, aunque debido a su relativa simplicidad y a su bajo costo inicial es muy utilizado para la regulación de temperatura de invernaderos pequeños. En - el segundo caso, con el regulador proporcional, se puede ob

tener un control más exacto de la temperatura del aire si - la cantidad de calor producido equilibra la desviación de la temperatura del aire con respecto al valor deseado, prefiriéndose esta acción a la sucesión de períodos de tiempo durante los cuales se obtiene una producción máxima de calor seguidos por otros sin producción. Este tipo de regulador - suele contener un dispositivo corrector para obtener mayor exactitud, por lo que la regulación proporcional es más cara que la obtenida con el regulador prendido-apagado.

Dadas las dimensiones y la finalidad del invernadero, y conforme a los sistemas propuestos, tanto para la ventilación como para la calefacción, el regulador que se deberá emplear es del tipo prendido-apagado. La mayoría de los reguladores comerciales de este tipo consisten de un elemento sensor y de elementos controladores, que son completamente mecánicos, que encenderán y apagarán el equipo que contrarrestará el cambio de temperatura; sin embargo, existen también sistemas que entre el elemento sensor y los elementos controladores requieren un circuito de potencia.

A continuación se explican algunos de los reguladores más utilizados en invernaderos comerciales.

a) REGULADOR REALIZADO CON UN SISTEMA TERMICO DE LLENADO

El sistema térmico de llenado comprende una unidad cerrada bajo presión, y consiste de un bulbo conectado por un tubo capilar a un elemento de forma he-

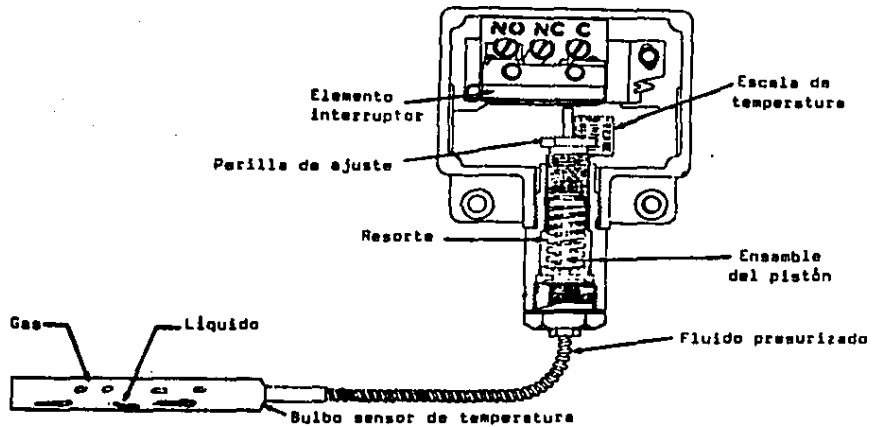


FIG. 3.4 REGULADOR DE TEMPERATURA REALIZADO CON UN SISTEMA TERMICO DE LLENADO

(7) S.O.R. "Pressure & Temperature Switches for Industry" p.2.

licoidal o espiral, localizado en el instrumento.- Cuando el sistema es llenado con gas o con vapor, - en equilibrio con un líquido volátil, un incremento en la temperatura causa un incremento en la presión en el sistema; el incremento en la presión -- tiende a desarrollar a la hélice."(8)

La figura 3.4 presenta un regulador que utiliza un sistema térmico de llenado. Consta de un sensor - térmico en forma de bulbo que contiene un líquido- que cambia a vapor cuando es calentado. La presión del gas resultante actúa en el área del pistón, con trarresta la fuerza de un resorte ajustado de acuerdo a la temperatura deseada por medio de una perilla, y mueve al pistón unas milésimas para activar el interruptor NA que encenderá la ventilación.

Este mismo tipo de regulador puede utilizarse para la calefacción si el pistón se encuentra presionando un interruptor NC, de tal forma que al disminuir la presión del gas el pistón baja, dejando de activar al interruptor.

#### b) REGULADOR BIMETALICO

Los reguladores bimetalicos se rigen por dos principios elementales:

(8) JIMENEZ, M. "Apuntes de Medición e Instrumentación" Medición de Temperatura.

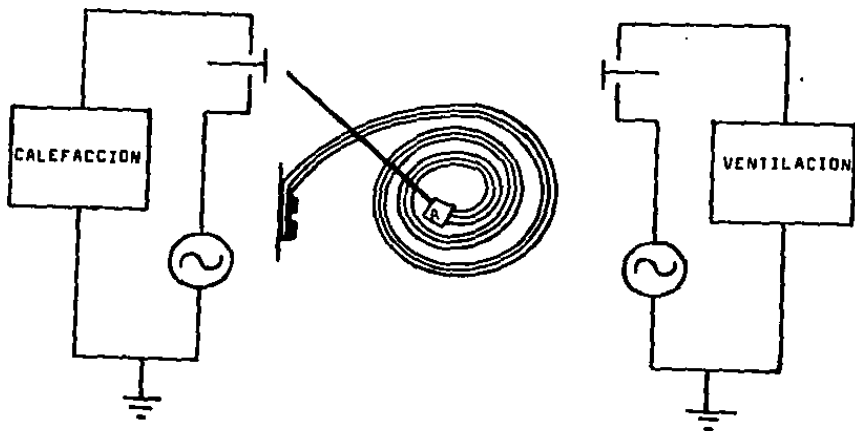


FIG. 3.5 REGULADOR DE TEMPERATURA BIMETALICO

- Los metales varían su volumen con su temperatura.
- El coeficiente de dilatación no es el mismo en todos los metales.

Si dos bandas metálicas diferentes son unidas y calentadas, la banda resultante tenderá a doblarse hacia el lado del metal que tenga menor coeficiente de dilatación.



El movimiento que tiene la barra formada con los dos metales es muy pequeño, pero puede ser amplificado en un valor razonable si la banda bimetálica se dobla en forma de espiral o hélice.

En el regulador bimetálico existe una espiral de este tipo colocada en forma fija a una pared de la caja del aparato como se ilustra en la figura 3.5. En el centro del espiral se encuentra un amplificador de movimiento conectado a una aguja; conforme aumenta la temperatura la espiral se enrolla moviendo la aguja de acuerdo a las manecillas del reloj hasta cerrar un interruptor que enciende la ventilación.

Si por el contrario, disminuye la temperatura, llega un momento en que la aguja acciona otro interruptor, localizado en el extremo izquierdo de la caja, que encenderá la calefacción.

#### c) REGULADOR REALIZADO CON UN TERMISTOR

"El termistor es, como su nombre lo implica, una resistencia sensible a temperatura, esto es, su resistencia terminal está relacionada con la temperatura de su cuerpo. Tiene un coeficiente negativo de temperatura, indicando que su resistencia disminuye con un aumento en la temperatura de su cuerpo."<sup>(9)</sup>

(9) BOYLESTAD, R., NASHESKY, L. "Electrónica, Teoría de Circuitos" p.119.

La figura 3.6 presenta un regulador de temperatura realizado en torno a un RTD o termistor.

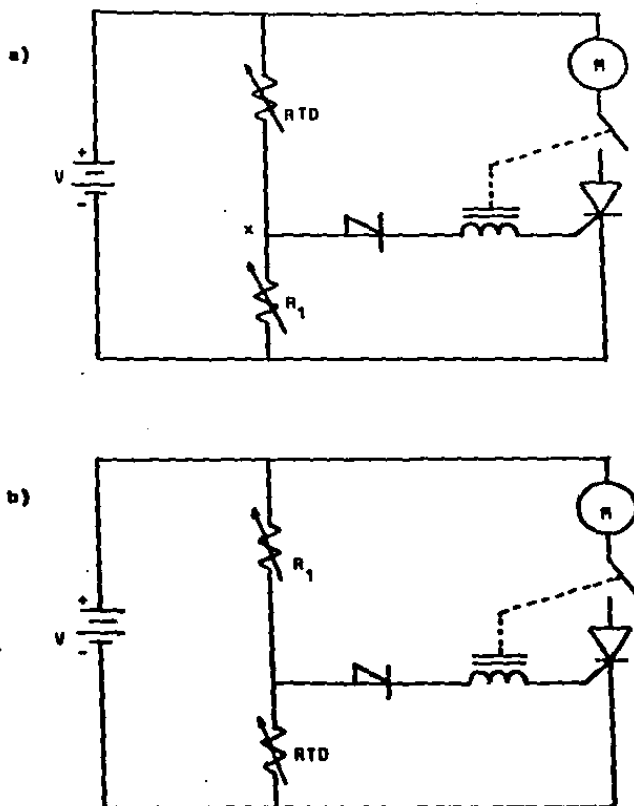


FIG. 3.6 REGULADOR DE TEMPERATURA REALIZADO CON UN TERMISTOR  
 a) PARA EL ENCENDIDO DE LA VENTILACION, b) PARA EL  
 ENCENDIDO DE LA CALEFACCION

En la figura 3.6 (a) la temperatura es menor a la máxima deseada, el voltaje en el punto x es inferior al voltaje de conmutación del diodo de cuatro

## ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

capas. Por lo tanto, el diodo permanece "apagado", la bobina desenergizada y no fluye corriente por la terminal de compuerta del SCR, esto lo mantiene apagado, por lo que el motor del ventilador estará desactivado.

Conforme la temperatura aumenta,  $R_T$  desciende y  $V_x$  aumenta hasta alcanzar el voltaje de conmutación del diodo. En este punto, el diodo permite el paso de corriente que energiza la bobina y alimenta la compuerta del SCR; al energizarse, cierra el interruptor y el SCR conduce de tal forma que el ventilador enciende.

Si la temperatura desciende,  $R_T$  aumenta y  $V_x$  disminuye, por lo que la corriente a través de la bobina no es suficiente para energizarla, ocasionando que el interruptor se abra y el SCR deje de conducir, apagándose así el ventilador.

La figura 3.6 (b) presenta un circuito que opera bajo el mismo principio, pero que encenderá la calefacción. Cuando la temperatura ambiente es mayor a la mínima deseada, la resistencia RTD tendrá un valor muy pequeño, por lo que  $V_x$  será también pequeño y la bobina no se energizará, estando así el circuito abierto y el calefactor apagado.

Conforme la temperatura disminuye,  $R_T$  aumenta y por

lo tanto  $V_x$  también se incrementa hasta alcanzar el voltaje necesario para que el diodo conmute, se energice la bobina y cierre el interruptor, y el SCR conduzca y encienda la calefacción.

d) REGULADOR REALIZADO CON UN TERMOPAR

Un termopar consiste de dos alambres de diferente-clase o composición metalúrgica conecados en un extremo llamado junta de medición o junta caliente. Al aumentar la temperatura en dicha junta, se produce una fem en los extremos libres o fríos de los alambres que es traducida a milivolts.

La figura 3.7 presenta un circuito realizado con un termopar, en el que el voltaje de éste se aplica a la entrada inversora de un amplificador operacional que trabaja como un comparador. Si el voltaje en esta terminal es menor que el de la terminal no inversora, cuyo valor se encuentra fijo por medio de las resistencias  $R_3$  y  $R_4$  de acuerdo a la temperatura mínima deseada, a la salida del amplificador existirá un voltaje  $V_o$  que corresponde al voltaje de saturación positiva, el cual permitirá que se energice la bobina del relevador cerrando los contactos y encendiendo la calefacción. Conforme aumente la temperatura, aumentará el voltaje en la terminal inversora hasta alcanzar el voltaje de la no-inversora, por lo tanto a la salida del am--

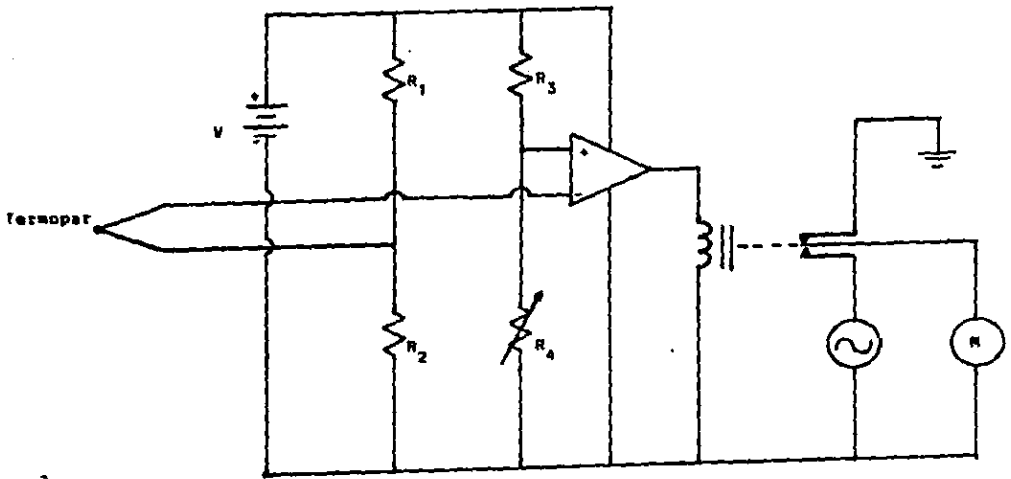


FIG. 3.7 CIRCUITO REGULADOR DE TEMPERATURA REALIZADO CON UN TERMOPIR

plificador se tendrá el voltaje de saturación negativa, el cual provoca una serie de cambios que apagará la calefacción.

A fin de utilizar este circuito para encender la ventilación se deben conectar las entradas invertidas; es decir, la referencia dada por  $R_3$  y  $R_4$  llegará a la terminal inversora y el voltaje del termopar se aplicará a la no-inversora. De esta manera, -- cuando la temperatura del invernadero sea muy elevada, por encima de la temperatura máxima requerida, el voltaje en la terminal no-inversora será mayor que el de referencia, energizándose así la bobina que encenderá el ventilador. Si por el contrario, la temperatura es menor a la máxima permitida, el voltaje en la terminal positiva no alcanzará al de la inversora, teniendo así un nivel bajo en la salida que no permitirá que la bobina se energice y cierre el circuito de ventilación.

En los invernaderos comerciales, los reguladores que más se utilizan son los mecánicos, como los sistemas térmicos de llenado y los bimetálicos; sin embargo, generalmente estos controlan el encendido de un solo motor, ya sea el que provee la ventilación o el de la calefacción, por consiguiente es necesario utilizar dos o hacerles algunas modificaciones a los que existen en el mercado, y dado que su costo es muy elevado, para un invernadero tan pequeño no es redituable,--

por lo que se propone un circuito electrónico que pueda encender ambos sistemas o uno solo en el caso de que así se desee.

La figura 3.8 presenta este circuito, el cual opera conforme al funcionamiento de los sistemas de ventilación y de calefacción seleccionados, que se puede resumir en los siguientes puntos:

- Si la temperatura en el invernadero está dentro del rango deseado ( $24^{\circ}$ - $32^{\circ}$ C) el circuito de control mantendrá apagados ambos sistemas de control.

- Si la temperatura alcanza un valor superior a  $32^{\circ}$ C el circuito de control encenderá el extractor que sacará el aire caliente ocasionando que se abran las ventilas de entrada de aire para completar la ventilación del invernadero.

- Si la temperatura disminuye hasta estar por abajo de los  $24^{\circ}$ C, el circuito deberá encender el ventilador y el calentador. El ventilador hará pasar el aire a través del calentador para que posteriormente se distribuya en todo el invernadero.

En el circuito de la figura 3.8 se tienen los siguientes componentes:

#### Resistencias y potenciómetros:

$R_1$ .- Resistencia de carbón depositado  
Valor Ohmico:  $1.5KE \pm 5\%$  de tolerancia  
Máxima disipación a temperatura ambiente:  $\frac{1}{2}$  Watt.

$R_2$ .- Resistencia de carbón depositado  
Valor Ohmico:  $33E \pm 5\%$  de tolerancia  
Máxima disipación a temperatura ambiente:  $\frac{1}{2}$  watt.

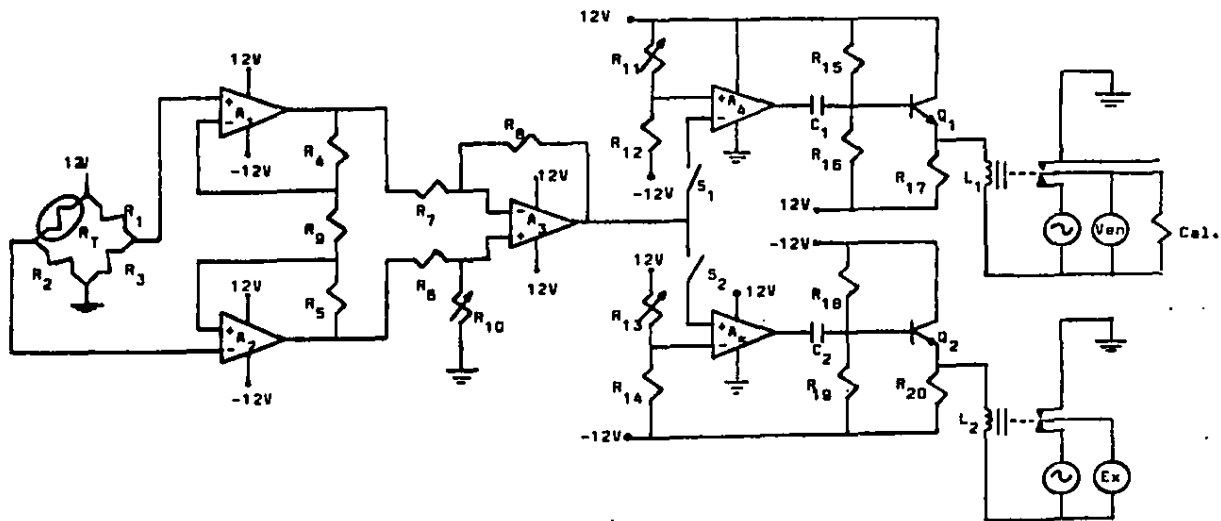


FIG. 3.8 CIRCUITO DE CONTROL DE TEMPERATURA PROPUESTO



- R<sub>3</sub>**.- Resistencia de carbón depositado  
 Valor Ohmico: 120 E ± 5% de tolerancia  
 Máxima disipación a temperatura ambiente: ½ Watt.
- R<sub>T</sub>**.- Termistor de coeficiente negativo de temperatura  
 Nombre comercial: TN-DO5-14/3  
 Resistencia @ 25°C; 470 E ± 10% de tolerancia  
 Coeficiente de temperatura @ 25°C: -4%/°C
- R<sub>4-8</sub>**.- Resistencias de carbón depositado  
 Valor Ohmico: 1.2 KE ± 5% de tolerancia  
 Máxima disipación a temperatura ambiente: ½ Watt.
- R<sub>9</sub>**.- Resistencia de carbón depositado  
 Valor Ohmico: 50 E ± 5% de tolerancia  
 Máxima disipación a temperatura ambiente: ½ Watt.
- R<sub>10</sub>**.- Potenciómetro rotativo  
 Valor resistivo: 1 KE  
 Disipación de potencia a temp. ambiente: ½ Watt.  
 Tipo de flecha: Metálica de 1"
- R<sub>11</sub>**.- Potenciómetro rotativo  
 Valor resistivo: 25 KE  
 Disipación de potencia a temp. ambiente: ½ Watt.  
 Tipo de flecha: Metálica de 1"
- R<sub>12-14</sub>**.- Resistencias de carbón depositado  
 Valor Ohmico: 4.7 KE ± 5% de tolerancia  
 Disipación a temperatura ambiente: ½ Watt.
- R<sub>13</sub>**.- Potenciómetro rotativo  
 Valor resistivo: 5 KE  
 Disipación de potencia a temp. ambiente: ½ Watt.  
 Tipo de flecha: metálica de 1"

- R<sub>15,18</sub>.- Resistencia de carbón depositado  
Valor Ohmico: 6.8 KE ± 5% de tolerancia  
Disipación a temperatura ambiente: ½ Watt.
- R<sub>16,19</sub>.- Resistencia de carbón depositado  
Valor Ohmico: 33 KE ± 5% de tolerancia  
Disipación a temperatura ambiente: ½ Watt.
- R<sub>17,20</sub>.- Resistencia de carbón depositado  
Valor Ohmico: 15 KE ± 5% de tolerancia  
Disipación a temperatura ambiente: ½ Watt.

#### Transistores:

- Q<sub>1,2</sub>.- Transistor de silicio de pequeña señal  
Nombre comercial: BC337/25  
hfe mínima: 160  
hfe máxima: 400  
Corriente de colector máxima: 100 mA

#### Capacitores:

- C<sub>1,2</sub>.- Capacitor electrolítico  
Capacitancia nominal: 330 µF.  
Tolerancia de capacitancia: -10% a +30%  
Tensión nominal: 200 Volts.

#### Amplificadores Operacionales:

- A<sub>1,5</sub>.- Amplificadores operacionales con compensación interna de frecuencia.  
Nombre comercial: µA747  
Encapsulado: DIP 14 terminales  
Temperatura de operación: -55°C a +125°C

#### Elementos diversos:

- S<sub>1,2</sub>.- Interruptores de palanca de un polo un tiro

Corriente máxima: 2 A @ 125 V A.C.

L<sub>1,2</sub> - Relevadores.

### 3.5 ANALISIS DEL FUNCIONAMIENTO DEL CIRCUITO PROPUESTO

Anteriormente se explicó el funcionamiento que debe de tener el sistema de control de temperatura propuesto, así mismo se sugirió el circuito que realice este control. Para verificar que este comportamiento sea el deseado y que los componentes del circuito sean los adecuados, a continuación se analizará el comportamiento y los cálculos del mismo.

El amplificador más utilizado para medición, instrumentación o control es el amplificador de instrumentación ya que, entre otras cosas, es en extremo estable y su precisión difícilmente se puede igualar. Es por esto que en el circuito propuesto para el control de temperatura de la figura 3.7 se utiliza un amplificador de este tipo, el cual está formado por los amplificadores operacionales  $A_1$ ,  $A_2$  y  $A_3$  y por las resistencias  $R_4$  a  $R_{10}$ .

Las entradas de dicho amplificador están dadas por un puente de resistencias o "Puente de Wheastone", en el que una de sus resistencias es un termistor que ocasiona que con un aumento o disminución de temperatura se desequilibre el puente teniendo una variación en la entrada del amplificador de instrumentación, la cual es amplificada y posteriormente comparada con los voltajes equivalentes a las temperaturas máximas y mínimas deseadas, en los amplificadores  $A_4$  y  $A_5$ .

Un aumento en la temperatura provocará un voltaje en la ter-

minal no inversora del comparador  $A_5$  mayor que el establecido por  $R_{13}$  y  $R_{14}$ , por lo que a la salida del mismo se tendrán 12 volts que energizarán la bobina  $L_2$  que encenderá el extractor. En este caso, el voltaje en la terminal inversora de  $A_4$  será mayor que el de la no inversora por lo que  $L_1$  estará desenergizada y el ventilador y calentador apagados.

Si por el contrario, la temperatura disminuye, la terminal positiva de  $A_5$  y la negativa de  $A_4$  tendrán un voltaje menor que sus contrarias correspondientes, lo que ocasionará que  $L_2$  esté desenergizado y el extractor apagado, y  $L_1$  se energizará encendiendo el ventilador y el calentador.

Para verificar que este funcionamiento corresponde a los de los sistemas de ventilación y calefacción propuestos, analicémoslo en dos diagramas de bloques.

La figura 3.9 (a) corresponde al control de la ventilación en la que el sensor está registrando la temperatura, la cual es amplificada para compararse con la máxima temperatura permitida  $r$ , y dependiendo de esta comparación se energizará o desenergizará la bobina que permitirá el encendido del extractor. Al comparar esta figura con la del sistema de enfriamiento propuesto (figura 3.2) se observa claramente que puede ser utilizada para este fin.

La figura 3.9 (b) corresponde al control de la calefacción en la que  $r$  es la entrada de referencia de la mínima temperatura permitida. Si la comparamos con el diagrama correspondien

te al sistema de calefacción propuesto, observamos que este-circuito es el adecuado.

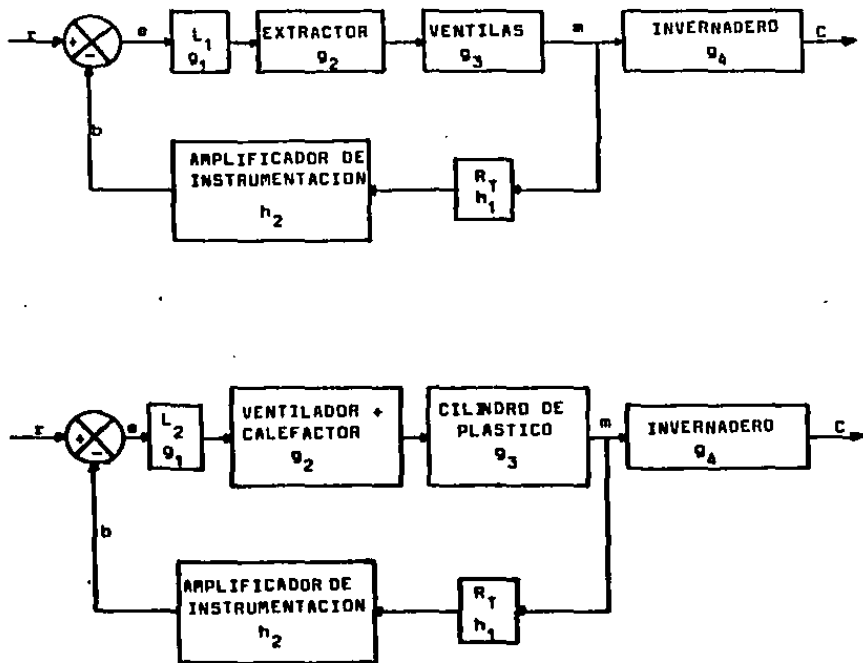


FIG. 3. ■ DIAGRAMA DE BLOQUES DEL CIRCUITO DE CONTROL DE TEMPERATURA PROPUESTO. a) PARA EL ENFRIAMIENTO, b) PARA LA CALEFACCION.

Ahora bien, para asegurar que el circuito está funcionando - de esta manera, se deberá analizar cada uno de sus componen- tes a fin de obtener su valor.

Primeramente, se estudiará el puente de resistencias, el cual debe estar balanceado a la temperatura media deseada que es de 28 °C. A esta temperatura, el termistor propuesto (TN-D05 -14-3) tiene un valor hmico de 414 E <sup>(10)</sup>. Si  $R_2 = 33 E$ , -  $R_3 = 120E$ , para que esté balanceado es necesario que:

$$\frac{R_t}{R_2} = \frac{R_1}{R_3} \quad (3.1) \quad (11)$$

$R_1$  deberá ser de 1505.4E, por lo que se escoge un valor co- mercial de 1.5KE.

En el amplificador de instrumentación el voltaje de salida - está dado por:

$$V_o = (V_1 - V_2)(1 + 2/a). \quad (3.2) \quad (12)$$

en donde:

$V_1$  = Voltaje en la terminal positiva de  $A_2$

$V_2$  = Voltaje en la terminal positiva de  $A_1$

$a$  = Constante que determina la ganancia del amplificador

$$a = R_3/R_4$$

(10) Guía de Compra DICOPPEL 1986-1987

(11) HOROWITZ, P. "The Art of Electronics" p.598.

(12) COUGHLIN, P.F., DRISCOLL, F.F. "Circuitos Integrados Lineales y Am- plificadores Operacionales" p.169.

Ya que  $R_1$  y  $R_2$  son constantes,  $V_2$  es un voltaje fijo, dado - por el divisor de tensión formado con estas resistencias:

$$V_2 = \frac{(12V)R_3}{R_1 + R_3} = 888\text{mV}$$

El valor de  $V_1$  variará de acuerdo a la variación de temperatura, ya que está determinado por el divisor formado por  $R_T$  y  $R_2$ . Analicemos los valores límites:

Cuando  $T = 24^\circ\text{C}$ ,  $R_T = 488.8\text{E}$

$$V_1 = \frac{(12V)R_2}{R_T + R_2} = 759\text{mV}$$

Cuando  $T = 32^\circ\text{C}$ ,  $R_T = 351.6\text{E}$

$$V_1 = \frac{(12V)R_2}{R_T + R_2} = 1.02\text{V}$$

Si consideramos  $R_4=R_5=1.2\text{KE}$  y  $R_9=50\text{E}$ :

$$a = \frac{50}{1200} = \frac{1}{24}$$

De la fórmula 3.2, la ganancia estará dada por:

$$A = \frac{V_o}{V_1 - V_2} = 1 + \frac{1}{a}$$

Por lo tanto:  $A = 49$

Para que el amplificador  $A_3$  tenga ganancia unitaria,  $R_6$ ,  $R_7$  y  $R_8$  deberán tener el mismo valor, supongamos  $1.2\text{KE}$ . El potenciómetro  $R_{10}$  se utiliza únicamente para eliminar el voltaje en modo común, por lo que se propone de  $1\text{KE}$ .



Con estos valores, se puede calcular el valor de voltaje en el que se encienda el extractor o la calefacción de la siguiente manera:

Cuando la temperatura llega a 32°C.:

$$V_1 - V_2 = 132\text{mV}$$

$$V_0 = A(V_1 - V_2) = 6.4\text{V}$$

En este momento se deberá encender el extractor, por lo que el divisor formado por  $R_{13}$  y  $R_{14}$  deberá dar 6.4 Volts. Si consideramos  $R_{14} = 4.7\text{KE}$ :

$$R_{13} = \frac{(24\text{V})R_{14}}{V_0 + 12} - R_{14} = 1.43\text{KE}$$

Se propone un potenciómetro de 5KE ajustado a este valor por si posteriormente se desea cambiar el nivel máximo de temperatura se pueda ajustar con éste.

Para el caso de que la temperatura baje a 24°C.:

$$V_1 - V_2 = -129\text{V}$$

$$A(V_1 - V_2) = -6.31\text{V}$$

Es decir, cuando  $V_0 = -6.31\text{V}$  se deberá encender la calefacción por lo que el divisor formado por  $R_{11}$  y  $R_{12}$  deberá estar ajustado a este valor. Si  $R_{12} = 4.7\text{KE}$ :

$$R_{11} = \frac{(24\text{V})R_{12}}{V_0 + 12} - R_{12} = 15.12\text{KE}$$

Se propone un potenciómetro de 25KE para que posteriormente se puedan variar los límites de temperatura si se desea.

Para asegurarnos de que la corriente que energize cada bobina sea la adecuada se utiliza un emisor-seguidor polarizado en clase A cuya corriente de colector es de 3mA,  $h_{fe} = 330$  y  $V_{CE} = 6V$ .

Por lo tanto:

$$R_{17} = \frac{V_{17}}{I_c(1 + 1/h_{fe})} = \frac{6V}{1mA(1 + 1/330)} \quad (3.3)$$

$$R_{17} = 5.98KE$$

El voltaje de la base es igual a:

$$V_B = \frac{R_{16}V_{CC}}{R_{15} + R_{16}} \quad (3.4)$$

Y,

$$V_B = V_{17} + 0.7V = 6.7V$$

Si consideramos  $R_{16} = 33KE$  y despejamos de la ecuación 3.4, obtenemos:

$$R_{15} = 16.25KE$$

Se proponen las siguientes resistencias comerciales:

$$R_{15,18} = 6.8KE$$

$$R_{16,19} = 33KE$$

$$R_{17,20} = 15KE$$

Los interruptores  $S_1$  y  $S_2$  sirven para desconectar los sistemas de calefacción y enfriamiento respectivamente, si sólo se desea utilizar uno de ellos.

Así, queda comprobado que el circuito propuesto cumple con -

el funcionamiento deseado.

## CAPITULO 4

### CONTROL DE LUZ

#### 4.1 CANTIDAD DE LUZ NECESARIA PARA EL CULTIVO

La luz son ondas electromagnéticas sensibles al ojo humano que transportan energía, y se propagan transversalmente en todos los medios, incluyendo el vacío, y en todas direcciones, iluminando así los objetos y haciéndolos visibles.

Uno de los factores esenciales para el desarrollo y crecimiento de las plantas es la iluminación, es decir el proporcionar luz a las plantas, ya que la energía que obtienen de ella se utiliza para transformar las soluciones acuosas de sales inorgánicas y sustancias químicas en tejido orgánico, realizando así la fotosíntesis o fijación de bióxido de carbono. Por lo tanto, es conveniente que las plantas reciban la mayor cantidad de luz posible, ya sea directa o indirecta.

En los invernaderos la cantidad de luz disponible puede constituir el factor limitativo del crecimiento de las plantas durante el invierno. Experimentos científicos y la experiencia de los horticultores demuestran que la iluminación posee un efecto sobre el rendimiento de las cosechas de invierno tan grande, o quizás mayor, que el conjunto de los restantes

cuidados de cultivo.

Si el invernadero propuesto se construye en la ciudad de México, en un área descubierta, no necesitará control de iluminación, ya que la luz solar es suficiente, aunque no la cantidad óptima, para las plantas elegidas. En cambio, si es construido en lugares en los que oscurece temprano y amanece muy tarde, como en la estación de invierno, en el norte del país, es conveniente colocar luz artificial.

La orientación de los invernaderos influye en gran medida en la iluminación de los mismos. En los edificios aislados con orientación Este-Oeste se transmite mejor la iluminación invernal que en los edificios idénticos orientados Norte-Sur, como se observa en la tabla 4.1, pero los bloques de invernaderos orientados Este-Oeste gozan de pocas ventajas, a excepción de los situados en regiones del sur, ya que se deben distribuir muy espaciados para evitar que se proyecten sombra de unos a otros. La orientación Este-Oeste está muy difundida para invernaderos caseros utilizados en la germinación y crecimiento de las plantas durante el invierno y principio de la primavera.

Si se coloca luz artificial al invernadero, no es necesario poner atención en la iluminación natural. Sin embargo, es importante seleccionar el tipo de lámpara, ya que no cualquier puede ser utilizada, pues si emite mucho calor pueden llegar a quemarse las hojas de las plantas. Además, se debe considerar el lugar en que se colocarán estas lámparas porque -

normalmente las hojas y los tallos se inclinan hacia el sitio de donde proviene la mayor cantidad de luz (fototropismo). - Por lo tanto, es recomendable usar tubos fluorescentes de 40 Watts colocados a 50 centímetros exactamente arriba de las plantas.

ORIENTACION	MES	% TRANSMISION DE ILUMINACION
N - S	Enero	48
	Febrero	54
	Marzo	56
	Abril	58
	Junio	64
	Septiembre	56
	Octubre	55
	Noviembre	53
	Diciembre	48
	E - O	Enero
Febrero		71
Marzo		69
Abril		68
Junio		66
Septiembre		67
Octubre		71
Noviembre		71
Diciembre		70

**TABLA 4.1 TRANSMISION DE LA ILUMINACION EN LOS INVERNADEROS CON CRISTALES<sup>(1)</sup>**

(1) TOOVEY, F.W. "Invernaderos Comerciales: Construcción y Calefacción" p.17.

#### 4.2 METODOS EXISTENTES PARA CONTROLAR LA ILUMINACION DE UN INVERNADERO

Debido a que casi todas las plantas necesitan para su crecimiento y desarrollo tener una fuente de energía luminosa el mayor tiempo posible, los invernaderos industriales que cuentan con un sistema de iluminación poseen un sistema que proporciona esta energía cuando se carece de la provista por el Sol. En la mayoría de estos invernaderos, tanto hidropónicos como geopónicos, se tiene un sistema similar al de la iluminación de las calles de nuestra ciudad; es decir, se tiene una fotocelda que cuando oscurece, al dejar de recibir suficiente energía luminosa, activa un sistema que enciende las lámparas, y al volver a recibir esta energía al amanecer, se apagan las lámparas.

Existen también invernaderos con controles de iluminación más sofisticados, que no solamente encienden y apagan las lámparas, sino que además gradúan la intensidad luminosa de las mismas, es decir, se tiene un control proporcional que mantiene en el invernadero una intensidad de luz constante durante todo el día. Este tipo de sistema resulta el mejor para el control de un invernadero industrial, sin embargo, para nuestro caso basta con encender y apagar las lámparas cuando existe cierta cantidad de luz solar, para obtener muy buenos resultados, además de que para las plantas seleccionadas no es recomendable mantenerlas iluminadas todo el día.

Para comprender el funcionamiento deseado del sistema y des-

pués compararlo con el que se propone, a continuación se describe con ayuda de un diagrama de bloques.

En la figura 4.1 se observa que es un sistema de lazo abierto, en el que:

- $r_1$  (entrada de referencia 1).- mínima referencia de la intensidad de luz en el cuarto o lugar que se va a iluminar (invernadero).
- $r_2$  (entrada de referencia 2).- intensidad de luz solar que hay en dicho lugar.
- $g_1$  y  $g_2$  (elementos de control o controladores).- componentes requeridos para generar la señal de control apropiada o cantidad de luz que se aplica a la planta.

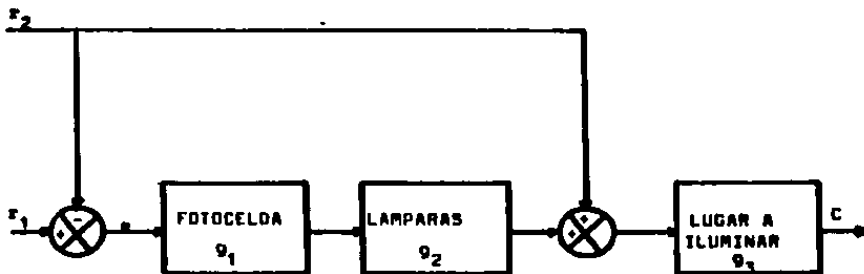


FIG. 4.1 DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN SISTEMA DE CONTROL DE UN INTERRUPTOR DE LUZ<sup>(2)</sup>

(2) DIESTEFANO III, J. Y COL. "Retroalimentación y Sistemas de Control" p.23



- $g_3$  (planta o proceso).- lugar que se va a iluminar; es decir, el invernadero.
- $c$  (salida controlada).- intensidad actual de luz en el invernadero.

Al restar ambas entradas de referencia, se obtiene la señal impulsora e o señal de error. Esta señal es la que hará que la fotocelda active las lámparas de acuerdo a las siguientes condiciones:

- 1) Si  $e < 0$ , la luz solar es mayor o igual a la referencia mínima, por lo tanto la fotocelda recibe suficiente energía luminosa y las lámparas permanecen apagadas.
- 2) Si  $e > 0$ , la luz solar es menor a la referencia mínima y la fotocelda no recibirá la luz suficiente para apagar las lámparas, por lo tanto estarán encendidas.

Existe un sin número de circuitos que cumplen con el funcionamiento de este sistema; como ejemplos, a continuación se explicarán algunos.

#### a) CIRCUITO REALIZADO CON UN FOTOTRANSISTOR:

Un fototransistor es un dispositivo sensible a la luz cuyas características son similares a las de un transistor bipolar típico. Posee una unión p-n colector-base fotoresistiva, por lo que si la corriente inducida por efectos fotoeléctricos es la corriente de base, a un incremento en la intensidad de luz le co-

responderá un incremento en la corriente de colector.

El circuito de la figura 4.2 (a) realizado en base a un fototransistor, puede ser utilizado para encender una lámpara o serie de lámparas, con el fin de tener la iluminación deseada.

Cuando existe la iluminación deseada, la corriente de base fotoinducida será suficiente para saturar el fototransistor  $Q_1$ , el cual suministrará la corriente en la base de  $Q_2$  necesaria para saturarlo. Al estar saturado éste último, la bobina del relevador se energiza y cierra los contactos AB que se conectan a las lámparas apagándolas. Cuando la corriente de base fotoinducida no es la suficiente para saturar a  $Q_1$ , permanecerá en estado de corte, y ocasionará que  $Q_2$  también esté en estado de corte y por lo tanto, la bobina estará desenergizada, los contactos BC cerrados y las lámparas encendidas.

La figura 4.2 (b) presenta el diagrama de bloques de este circuito. Al igual que en la figura 4.1,  $r_1$  y  $r_2$  son las entradas de referencia,  $e$  es la señal de error y  $c$  es la salida controlada. Se puede observar que este diagrama es prácticamente igual a aquel, la única diferencia es que en lugar de una fotocelda se tiene un fototransistor, y además en este diagrama -

se desgloza el circuito de activación de las lámparas, observándose así más elementos de control (foto transistor,  $Q_2$ ,  $L$ ,  $S$ , lámpara), que en el circuito anterior (Fotocelda, lámpara).

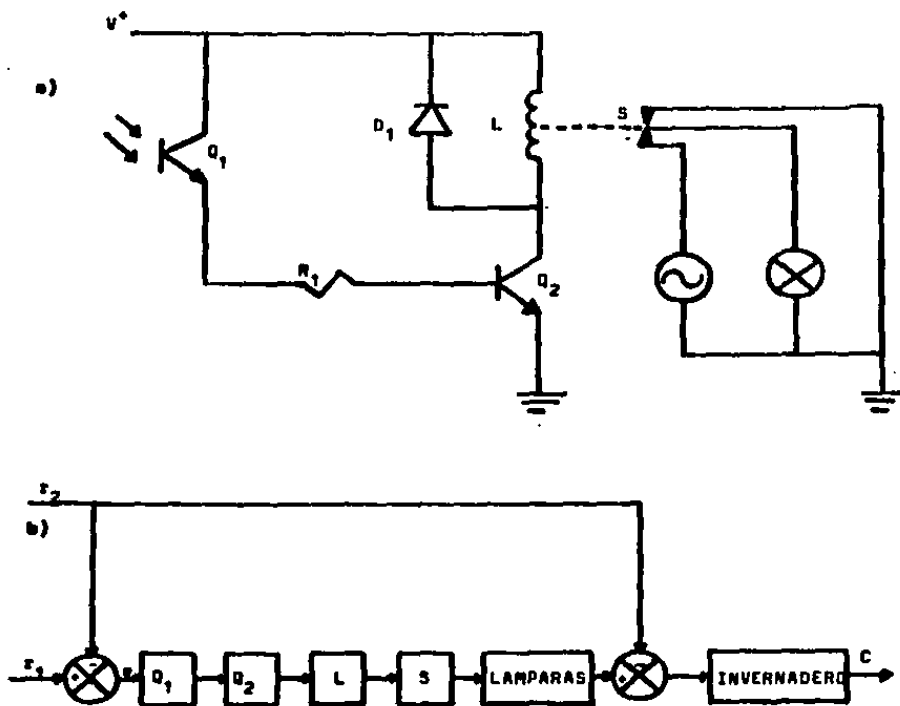


FIG. 4.2 CIRCUITO REALIZADO CON UN FOTOTRANSISTOR PARA EL CONTROL DE ILUMINACION<sup>(3)</sup>

(3) MARKUS, J. "Guide Book of Electronic Circuits" p.834. Circuito modificado por el tesista.

En los circuitos que se describen a continuación las lámparas también deberán ser encendidas por medio de un relevador; sin embargo, en lugar de éste se representa una lámpara solamente, esto es únicamente con fines didácticos. En la práctica en lugar de la lámpara se debe colocar el relevador con su respectivo diodo para proteger a la bobina de regresos de tensión (Diodo  $D_1$  de la figura 4.2 (a)).

#### b) CIRCUITO REALIZADO CON DOS FOTOCELDAS:

Una fotocelda o celda fotoconductoras es un dispositivo semiconductor de dos terminales constituido por una película delgada de material semiconductor depositado sobre un substrato aislante con terminales metálicas fijas a cada extremo del semiconductor y con una cubierta de vidrio transparente que permite la incidencia de luz sobre el semiconductor.

Cuando la luz incide en el material semiconductor, los fotones incidentes pueden comunicar su energía a los electrones de valencia por medio de colisiones, excitándolos y haciéndolos pasar a la banda de conducción para convertirse en electrones libres de conducción. Es decir, los electrones de valencia se convierten en portadores de corriente disponibles, lo que produce un decremento en la resistividad del material y, por tal motivo, también en su resistencia. Por lo tanto, "una fotocelda es un dispositivo semiconductor cuya resistencia varía linealmente con la

intensidad de luz incidente,"<sup>(4)</sup> por lo que también se le conoce como fotoresistencia.

Una lámpara de neón es un tubo de vidrio que contiene principalmente gas neón con vapor de mercurio y otros gases raros como son el helio, argón, etc. Al existir una diferencia de potencial en sus extremos se produce el paso de una descarga eléctrica, lo que a su vez, debido a las propiedades de conductividad y luminosidad del gas, se traduce en luz.

La figura 4.3 (a) presenta un circuito de control de iluminación realizado en torno a dos celdas fotoconductoras y a una lámpara de neón. En esta figura, cuando la fotocelda  $PC_1$  recibe la luz solar, disminuye su resistencia así como el voltaje en sus extremos, por lo que entre las terminales de la lámpara de neón  $Ne$  no existirá la diferencia de potencial suficiente para que se produzca el paso de la descarga eléctrica y se encienda. Cuando la luz que incide en  $PC_1$  disminuye, su resistencia aumenta al igual que dicha diferencia de potencial, por lo tanto la lámpara de neón se encenderá.

Al encenderse la lámpara de neón, ilumina a la fotoresistencia  $PC_2$  ocasionando que su resistencia dismi

(4) BOYLESTAD, R., NASHELSKY, L. " Electrónica, Teoría de Circuitos" p.102

nuya. Esto provoca que la compuerta del TRIAC tenga el voltaje suficiente para que conduzca y encienda - la lámpara.

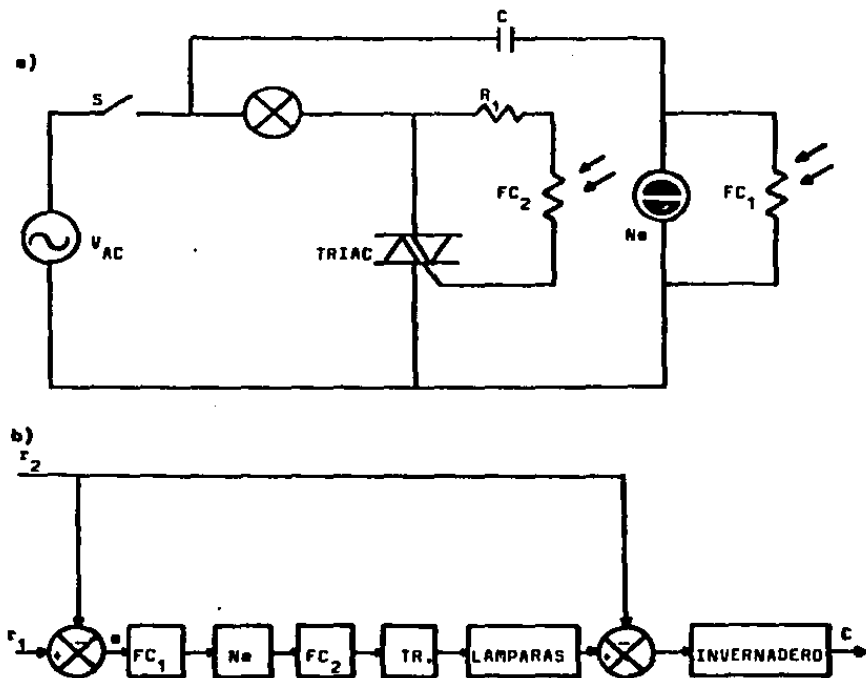


FIG. 4.3 CIRCUITO DE CONTROL DE ILUMINACION REALIZADO EN TORNO A DOS FOTOCELDA(S)

(5) GARVIN, G.L., "Reader's Circuit" p.65

En la figura 4.3 (b) se observa que el diagrama de bloques de este circuito es similar a los anteriores.

Nuevamente,  $r_1$  y  $r_2$  son las entradas de referencia,  $e$  es la señal de error y  $c$  es la salida controlada. Si comparamos este diagrama con el del sistema de control de un interruptor de luz de la figura 4.1, veremos que la única diferencia es que en este caso se muestran cada una de las partes del circuito de activación de las lámparas, el cual, a diferencia del caso anterior, necesita dos fotoceldas.

En este circuito se puede observar que ambas fotoceldas activan a otro elemento del mismo, sin embargo, de acuerdo a la explicación hecha anteriormente, ambas actúan de forma inversa. Cuando  $FC_1$  NO está iluminada ocasiona que la lámpara de neón se encienda, mientras que  $FC_2$  SI necesita recibir la luz para provocar que el TRIAC conduzca. Si se hubiera colocado únicamente  $FC_2$  recibiendo la luz solar, el circuito actuaría en forma contraria a lo que deseamos: cuando existiera luz solar estarían encendidas las lámparas, por ello fue necesario colocar la primera fotocelda, es decir, existe un inversor formado por  $FC_1$  y  $Ne$ .

c) CIRCUITO REALIZADO CON UNA FOTOCELDA:

En la figura 4.4 (a) cuando la fotocelda  $FC$  está iluminada por la luz solar, su resistencia es lo sufi-

cientemente pequeña para permitir que una corriente circule entre la base y el emisor del transistor  $Q_1$  - ocasionando que se sature.

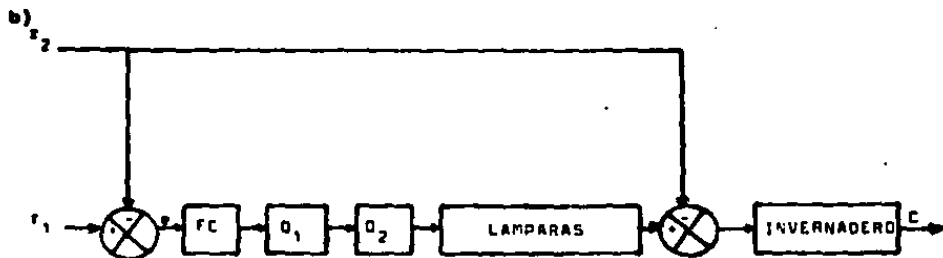
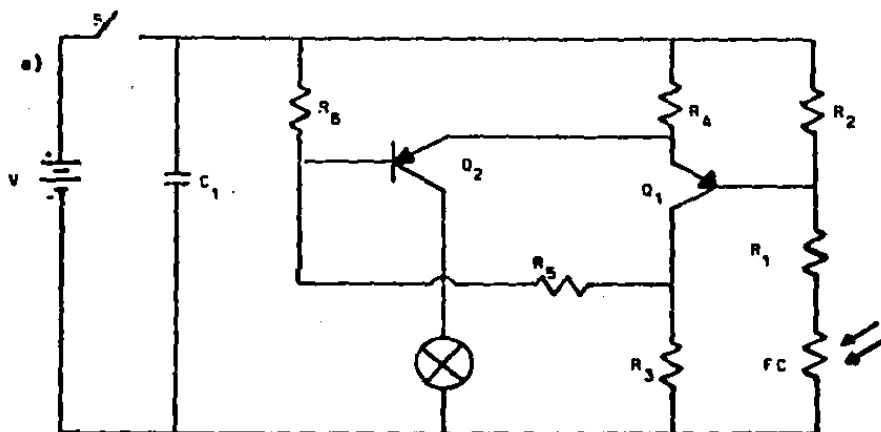


FIG. 6.4 CIRCUITO DE CONTROL DE ILUMINACION REALIZADO CON UNA FOTOCELDA (6)

(6) PHILLIPS "Electronic Engineer (libro de Instrucción)", p.66



Al saturarse  $Q_1$ , no llegará suficiente corriente a  $Q_2$  es decir, el voltaje entre la base y el emisor de  $Q_2$  es prácticamente nula, por lo que estará en estado de corte y no habrá suficiente corriente en el colector para encender la lámpara.

Al contrario, si la fotocelda no está iluminada, su resistencia será muy elevada y existirá una pequeña diferencia de potencial entre la base y el emisor de  $Q_1$ ; por lo tanto, estará en corte provocando que exista suficiente voltaje entre base y emisor de  $Q_2$  para saturarlo. Al saturarse  $Q_2$  existirá una gran corriente en el colector que encenderá la lámpara.

La figura 4.4 (b) presenta el diagrama de bloques de este circuito. A diferencia del circuito anterior, - éste únicamente posee una fotocelda, sin embargo también fue necesario utilizar un inversor, que en este caso es el transistor  $Q_2$ . Comparándolo con el circuito de la figura 4.1 se puede concluir que también este circuito puede ser utilizado para el control de - iluminación que requiere el invernadero.

d) CIRCUITO REALIZADO CON UN FOTODIODO:

"Un fotodiodo es un dispositivo semiconductor de unión p-n cuya región de operación está limitada a la región

de polarización inversa"<sup>(7)</sup> y cuya corriente inversa varía con la intensidad luminosa.

En toda unión p-n polarizada inversamente, fluye una corriente de fuga muy pequeña debida a los portadores minoritarios generados térmicamente en los materiales tipo n y p. Los incrementos de temperatura producen más portadores minoritarios y por lo tanto más corriente de fuga. El mismo efecto se produce si - se permite el acceso de luz a la unión, ya que éste se traducirá en la transferencia de energía de las ondas de luz viajeras incidentes (en forma de fotones) a la estructura atómica, produciendo un número creciente de portadores minoritarios y un nivel aumentado de la corriente de fuga o corriente de saturación inversa.

De acuerdo al funcionamiento anterior, un fotodiodo puede trabajar como una fotoresistencia, en la que al aumentar la intensidad de luz incidente disminuye su resistencia. La figura 4.5 (a) presenta un circuito de control de iluminación en el que el fotodiodo trabaja de esta forma.

En dicha figura, mientras el fotodiodo está iluminado, permite el paso de una corriente lo suficiente-

(7) BOYLESTAD, R., NASHIELSKY, L. "Electrónica, Teoría de Circuitos" p.100

mente grande que ocasiona que la caída de tensión - en él sea tan pequeña que no permita que  $Q_1$  se sature. En consecuencia, la base del transistor  $Q_2$  será más negativa que su emisor ocasionando que se sature.

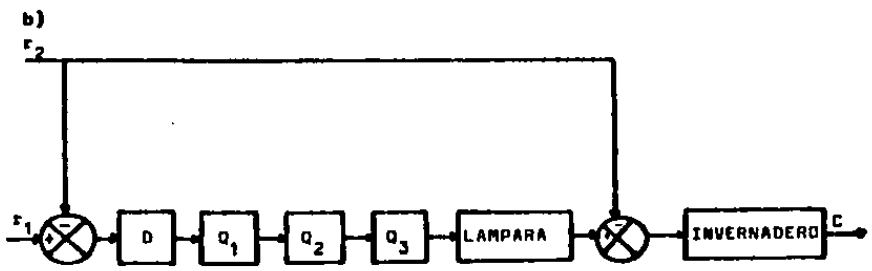
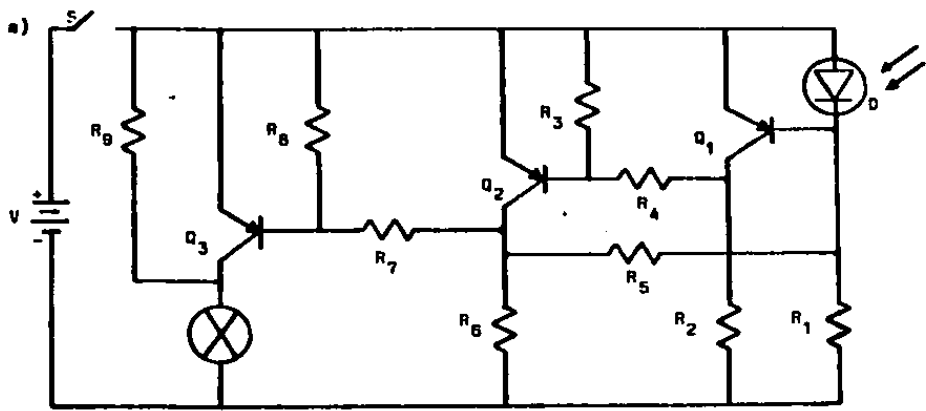


FIG. 4.5 CIRCUITO DE CONTROL DE ILUMINACION REALIZADO CON UN FOTODIODO (B)

(B) LEGER, R., "Otros 38 Circuitos con Transistores" p. 5.

Al saturarse  $Q_2$ , la base de  $Q_3$  será más positiva que su emisor provocando que esté en estado de corte. - Si  $Q_3$  está en corte, en su colector no circulará corriente que encienda las lámparas, permaneciendo éstas apagadas.

Cuando la iluminación disminuye, el fotodiodo disminuye su corriente de fuga y provoca que el voltaje en la base de  $Q_1$  sea menor que el voltaje en su emisor, por lo tanto  $Q_1$  estará saturado, la base de  $Q_2$  se vuelve más positiva provocando que pase del estado de saturación al estado de corte. Al estar  $Q_2$  en estado de corte, la base del transistor  $Q_3$  estará a un voltaje más pequeño que su correspondiente emisor, por lo que  $Q_3$  estará conduciendo y en su colector existirá la corriente que enciende la lámpara.

La figura 4.5 (b) presenta el diagrama de bloques - que ilustra el funcionamiento descrito anteriormente. Como ya se explicó, el fotodiodo se comporta - como una fotocelda, y como en los dos casos anteriores también en éste fue necesario un inversor ( $Q_1$ ).

Al igual que estos cuatro circuitos fueron explicados, se podrían analizar muchos más, sin embargo se escogieron únicamente estos para ilustrar que el control de iluminación - se puede llevar a cabo utilizando diversos fotoelementos. -

Cabe mencionar que estos circuitos fueron seleccionados de sistemas existentes con diferentes aplicaciones, por consiguiente, para determinada utilización es posible que requieran modificaciones.

#### 4.3 SISTEMA PROPUESTO PARA CONTROLAR LA ILUMINACION

Como se explicó anteriormente el sistema necesario para controlar la iluminación del invernadero es aquel que proporcione energía luminosa cuando se carezca de la provista por el Sol. Por consiguiente, se propone un sistema como el utilizado para encender las lámparas de las calles de nuestra ciudad, descrito en el inciso anterior.

Considerando que el invernadero que aquí se propone tiene -- dos camas de 2m X 1m y dos de 2m X 0.5m y conforme a la explicación dada en el capítulo uno (inciso 1.3), se utilizarán -- para la iluminación seis tubos fluorescentes de 40 watts -- (240 w. en total) de 1.20m de longitud.

Para controlar el encendido y apagado de los tubos fluorescentes de acuerdo con el sistema propuesto se podría seleccionar cualquiera de los circuitos descritos, sin embargo se propone un circuito diferente, que realiza la misma función pero puede soportar mayor carga para el caso en que el invernadero sea más grande y necesite mayor número de tubos fluorescentes.

La figura 4.6 muestra el circuito propuesto para este fin. -- Como se puede observar, el fotoelemento escogido es una celda fotoconductor. Se seleccionó este elemento ya que comparándolo con el fototransistor y el fotodiodo resulta más práctico y más económico. Es más práctico ya que se puede determinar con mayor facilidad la cantidad de luz necesaria

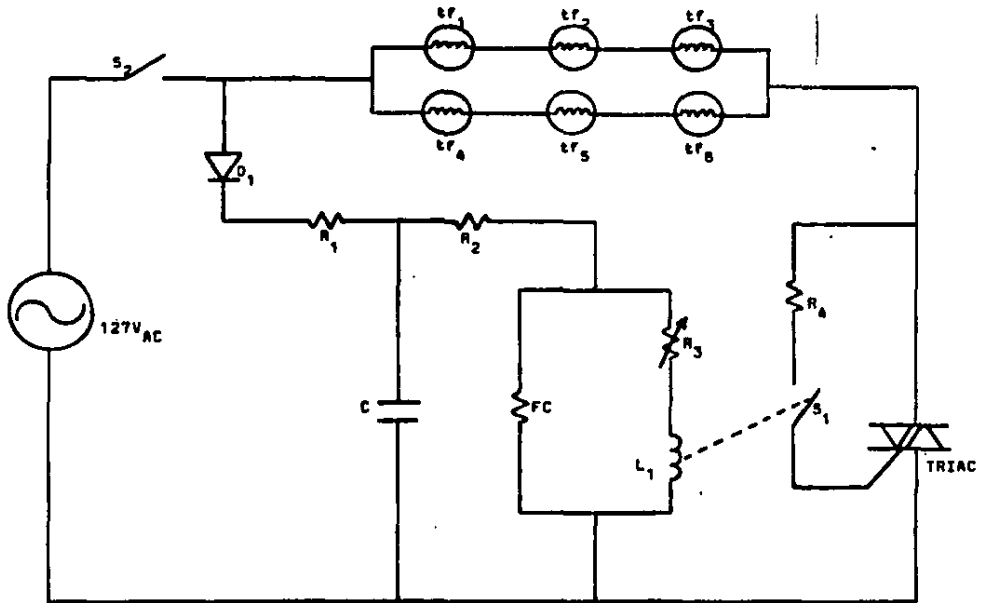


FIG. 4.6 CIRCUITO PROPUESTO PARA EL CONTROL DE ILUMINACION DEL INVERNADERO (9)

(9) MARKUS, J. "Guide Book of Electronic Circuits" p.93

para encender o apagar las lámparas en comparación con el -  
fototransistor.

En el circuito de dicha figura se tienen los siguientes com-  
ponentes:

Resistencias y potenciómetros:

R<sub>1</sub>.- Resistencia de carbón depositado.

Valor Ohmico: 10E ± 5% de tolerancia

Máxima disipación a temperatura ambiente: ½ Watt.

R<sub>2</sub>.- Resistencia de carbón depositado.

Valor Ohmico: 10 KE ± 5% de tolerancia

Máxima disipación a temperatura ambiente: ½ Watt.

R<sub>3</sub>.- Potenciómetro rotativo.

Valor resistivo máximo: 5KE

Disipación de potencia a temperatura ambiente: ½ Watt.

Tipo de flecha: metálica de 1"

R<sub>4</sub>.- Resistencia de carbón depositado.

Valor Ohmico: 100E ± 5% de tolerancia

Máxima disipación a temperatura ambiente: ½ Watt.

FC.- Fotoresistencia de sulfuro de cadmio (CdS).

Voltaje máximo: 200 Volts.

Máxima disipación a temperatura ambiente: ½ Watt.

Corriente máxima: 20 mA

Fotocorriente a 12 V y 1 pie-bujía: 65 a 275 µA @ 25°C

Corriente de decaimiento: 1 µA (10 segundos después de  
retirar la iluminación anterior) @ 25°C.

Capacitores:

C<sub>1</sub>.- Capacitor electrolítico.

Capacitancia nominal: 47 µA



Tolerancia de capacitancia: -10% a +30%  
Tensión nominal: 200 Volts.

Diodos:

D .- Diodo rectificador de Silicio BY127M  
Tensión inversa RMS máxima: 1250 Volts.  
Corriente máxima en sentido directo: 1 A  
Corriente máxima en sentido inverso: 10  $\mu$ A.

Elementos diversos:

TRIAC.- Dispositivo bidireccional SC146B1  
Disipación de potencia de pico de compuerta: 10W durante 10 ms.  
Corriente RMS en estado de encendido: 10 A  
Voltaje repetitivo de pico en estado de apagado: 200 V  
Voltaje de sobretensión de aislamiento: -40 a +100°C

TF<sub>1-6</sub>.- Tubos fluorescentes  
Capacidad nominal: 40 Watts.  
Longitud: 1.20 metros.

S<sub>2</sub>.- Interruptor de palanca de 1 polo, 1 tiro  
Corriente máxima: 2 A @ 125 V A.C.

S<sub>1</sub>-L<sub>1</sub>.- Relevador

#### 4.4 ANALISIS DEL FUNCIONAMIENTO DEL CIRCUITO PROPUESTO

En el inciso anterior se explicó el funcionamiento que debe tener el sistema propuesto; así mismo se sugirió el circuito que realice el control. Para verificar que este funcionamiento sea el deseado y que los componentes del circuito sean los adecuados, a continuación se analiza el comportamiento y los cálculos del mismo.

En la figura 4.6 se observa que el voltaje AC de alimentación es de 127 Volts, el cual es proporcionado por cualquier toma de corriente o contacto. Una parte de esta señal, que es rectificada por el diodo  $D_1$  y filtrada por el capacitor  $C_1$ , cerrará o abrirá el circuito por medio del TRIAC, la otra parte de la señal circulará a través de las lámparas y las encenderá siempre y cuando el circuito esté cerrado.

Si consideramos que existe la suficiente luz natural en el - invernadero, la resistencia de la fotocelda tendrá un valor-Ohmicó muy pequeño, esto provoca que la corriente que circula a través del diodo y de las resistencias  $R_1$  y  $R_2$  circule también por la fotocelda  $FC$  y una corriente muy pequeña fluirá entonces por  $R_3$  y  $L_1$ . Esta corriente no es lo suficiente grande para activar la bobina  $L_1$ , por lo tanto el voltaje entre ánodo y compuerta del TRIAC no será capaz de activarlo por lo que no conducirá y en consecuencia el circuito-estará abierto y las lámparas no encenderán.

Si por el contrario, la luz solar no es suficiente, el valor óhmico de la fotocelda será muy elevado y la mayor parte de la corriente circulará por  $R_3$  y  $L_1$ , existiendo así un voltaje en la compuerta del TRIAC suficiente para activarlo y cerrar el circuito, ocasionando que las lámparas enciendan.

Analizando este comportamiento en un diagrama de bloques (figura 4.7) se puede determinar con mayor claridad que puede ser utilizado para el control del invernadero, ya que corresponde al funcionamiento del sistema propuesto en el inciso anterior.

En este diagrama, el potenciómetro  $R_3$  será el elemento que determine la entrada de referencia 1 o mínima referencia de la intensidad de luz en el invernadero. Además en este diagrama se presenta la entrada de referencia  $r_2$ ; el circuito de control formado por el relevador, el TRIAC y FC; y la salida controlada C.

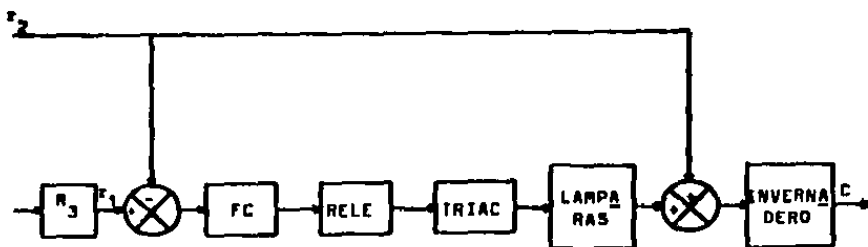


FIG. 4.7 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL CIRCUITO DE ILUMINACION PROPUESTO.

Ahora bien, éste análisis no es suficiente para determinar si el circuito propuesto es el adecuado para nuestro sistema, verifiquemos la elección de los componentes del mismo:

El diodo  $D_1$  es un rectificador de media onda cuyo valor máximo de voltaje AC para este caso es <sup>(10)</sup>:

$$V_m = 127 \sqrt{2} = 179.61 \text{ V} \quad (4.1)$$

La señal una vez rectificada se filtra por el capacitor  $C_{dan}$  dando como resultado un voltaje CC ( $V_{cc}$ ) con un voltaje de rizo ( $V_r$ ) superpuesto en él, como se muestra en la figura 4.8, en la que:

$$V_r(p-p) = 2\sqrt{3} V_r(rms) \quad (4.2)$$

$$V_r(rms) = r V_{cc} = \frac{I_L V_{cc}}{2\sqrt{3} f C V_m} \quad (4.3)$$

$$\therefore r = \frac{I_L}{2\sqrt{3} f C V_m} \quad (4.4)$$

en donde:

$I_L$  = coeficiente de carga

$f$  = frecuencia de la señal = 60 Hz

$V_m$  = valor máximo de voltaje AC = 179.61 V

$r$  = factor de rizo.

Considerando que el factor de rizo debe ser lo más pequeño - posible, se supondrá un factor de 1.5%.

(10) Todo el desarrollo matemático está basado en el APENDICE B del libro: BOYLESTAD, R., NASHELSKY, L. "Electrónica, Teoría de Circuitos"

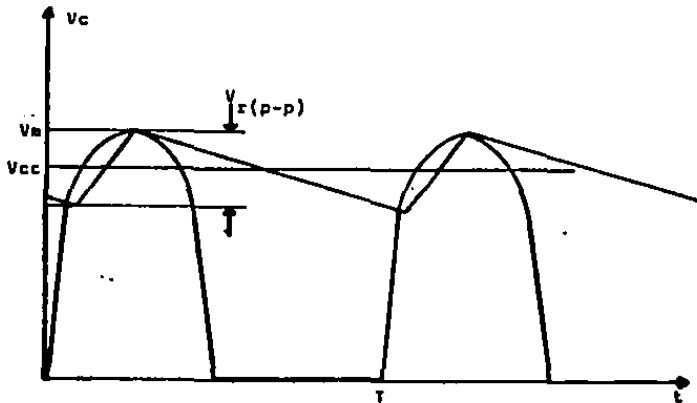


FIG. 4.8 VOLTAJE DE SALIDA APROXIMADO DEL CIRCUITO FILTRO

Para determinar el valor de la corriente de carga, se supondrá el caso en el que el valor óhmico de la fotoresistencia sea mínimo, por lo que casi toda la corriente circulará por ella y sólo una parte muy pequeña pasará por  $R_3$  y  $L_1$ . En este caso la corriente máxima que soporta la fotoresistencia propuesta es de 20 mA, por lo tanto, es el valor que se utilizará en los cálculos.

Así, se puede calcular el valor del capacitor despejando la fórmula 4.4 y sustituyendo estos valores:

$$C = \frac{I_L}{2\sqrt{3} f r V_m} = 35.71 \mu A$$

Se propone un capacitor de 47 $\mu$ F ya que es el valor inmediato superior que existe comercialmente. Si calculamos el factor de rizo con este capacitor obtendremos un valor de 1.14%, que al ser menor mejorará el voltaje de salida.

Nuevamente se supondrá el caso en que toda la corriente circule por la resistencia fotoconductor para calcular el valor de  $R_2$ , el cual para esta situación está dado por:

$$R_2 = \frac{V_{cc}}{I_L} \quad (4.5)$$

en donde:

$$V_{cc} = V_m - \frac{V_r(p-p)}{2\sqrt{3}} = V_m - V_r(rms) \quad (4.6)$$

como:

$$r V_{cc} = V_r(rms)$$

por medio de un pequeño desarrollo matemático se obtiene:

$$V_{cc} = \frac{V_m}{(1+r)} \quad (4.7)$$

sustituyendo obtenemos:

$$V_{cc} = 176.96 \text{ V}$$

por lo tanto:

$$R_2 = 8.84 \text{ KE}$$

Se propone una resistencia de valor comercial de 10KE. Con este valor la corriente máxima que circulará por la fotoresistencia es de 17.6mA.

La resistencia  $R_1$  únicamente sirve como fusible para protección contra sobrecorrientes, por lo que debe ser muy pequeña, se propone una de 10E.

El valor de la resistencia  $R_3$  debe variar, pues es la que fijará la corriente que pase por la fotoresistencia y la que pase por la bobina para energizarla; es decir, será el punto de ajuste para el encendido y apagado del TRIAC, por lo que es necesario un potenciómetro o resistencia variable, el cual se propone de 5 KE.

La selección del relevador debe hacerse considerando la corriente máxima que circula por la bobina, la cual será la corriente  $I_L$  determinada anteriormente (170.6 mA) ya que es la corriente que pasará por  $R_2$ ,  $R_3$  y  $L_1$  cuando la resistencia de la celda fotoconductor sea máxima y casi toda la corriente circule por  $R_3$ .

Por último, la resistencia  $R_4$  sirve únicamente para limitar la corriente en la compuerta del TRIAC para su protección, por lo que se propone una resistencia de 100E.

Se puede observar que los valores recientemente calculados corresponden a los propuestos anteriormente, lo que nos hace pensar que el circuito tendrá el funcionamiento deseado.

## CAPITULO 5

### INTEGRACION DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA

#### 5.1 ARMADO Y ADAPTACION DE LOS SISTEMAS DE REGULACION PROPUESTOS

Es muy difícil hablar de una integración o adaptación de los sistemas descritos a lo largo del presente trabajo, ya que -- existen muchos factores que deberá elegir el dueño del inver<sup>n</sup>adero de acuerdo a sus recursos, posibilidades o gusto particular.

Así por ejemplo, primero deberá escoger un lugar adecuado, - de preferencia que esté descubierto para aprovechar la luz - solar, que cuente con energía eléctrica y si es posible con - agua y que sea lo más amplio posible. Deberá estudiar las - condiciones ambientales de la región donde se construirá pa - ra determinar si es necesario utilizar todos los sistemas de control aquí propuestos o si se puede evitar alguno de ellos para así disminuir la inversión.

Una vez determinado lo anterior deberá elegir todos los mate<sup>r</sup>iales que utilizará en la construcción e instalación, como - son el tipo de estructuta y recubrimiento del invernadero, - el material de las camas o recipientes de cultivo, tipo de tu



berías, tanque para la solución nutritiva, tipo de cables, etc. para poder proseguir a la construcción del mismo.

A continuación se presenta un ejemplo de la construcción del invernadero para que posteriormente se realice un estudio de factibilidad del mismo.

Supondremos que el invernadero será para una casa que no posee jardín, por lo que se construirá en la azotea, en donde se tiene un espacio disponible de 3m X 5m. Cuenta con tomas de energía eléctrica, pero sin embargo, no posee instalaciones de agua.

Se asumirá que la casa está en el norte del País, en donde el clima es muy extremoso, por lo que será necesario utilizar los sistemas de enfriamiento y calefacción; además la luz solar no es la adecuada para el desarrollo de las plantas por lo que también se utilizará la iluminación artificial y por último la persona interesada no cuenta con el tiempo suficiente para alimentar sus hortalizas por lo que se dispondrá del sistema de riego automático.

Se elige un invernadero de cubierta de plástico y estructura de madera por ser el más económico y más fácil de construir. La figura 5.1 presenta un isométrico de dicha estructura, nótese que todas las vigas son dobles, esto es con el fin de pasar el plástico entre ambas para fijarlo.

Las camas serán fabricadas de fibra de vidrio y rellenas con

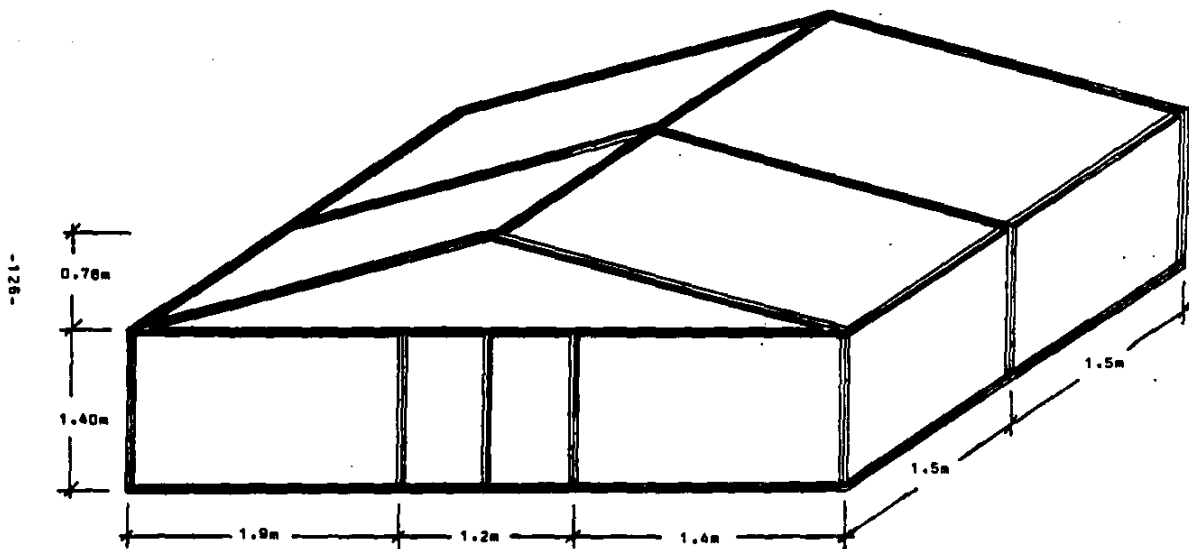


FIG. 5.1 ESTRUCTURA DEL INVERNADERO PROPUESTO

una capa de tezontle grueso, de cinco centímetros de espesor cubierta por una tela de costal de nylon fija en las orillas con la misma resina de fabricación de las camas y posteriormente una capa de veinte centímetros de agrolita. La disposición de las mismas en el invernadero se presenta en la figura 5.2.

Para el sistema de riego se tendrá un tambor de 200 litros - situado en una de las esquinas delanteras, el cual poseerá - dos orificios, uno en la parte inferior conectado a la motobomba por medio de un tubo de PVC de 1½" de diámetro para su administrar el líquido nutritivo. Se propone que la tubería - de la motobomba a las camas también sea de PVC, de 1" de diámetro y que cada cama cuente con una llave de paso de PVC que puede ser cerrada si la cama no es utilizada y que servirá - para regular la cantidad de solución de cada cama. Cada recipiente de cultivo deberá tener un orificio en su parte frontal inferior para desalojar el líquido nutritivo, el cual -- llegará a un tubo de tres pulgadas que está conectado al orificio del tambor. Se propone tubería de PVC ya que ésta no - es tóxica para las plantas. La figura 5.2 muestra la vista superior de las camas con el sistema de riego.

Para el control de temperatura, en el sistema de enfriamiento, es necesario un extractor de 50 cm de diámetro colocado en el frente del invernadero en la parte superior, arriba de la puerta. Para fijarlo se utilizan ángulos atornillados al extractor y a la estructura del invernadero, como se muestra

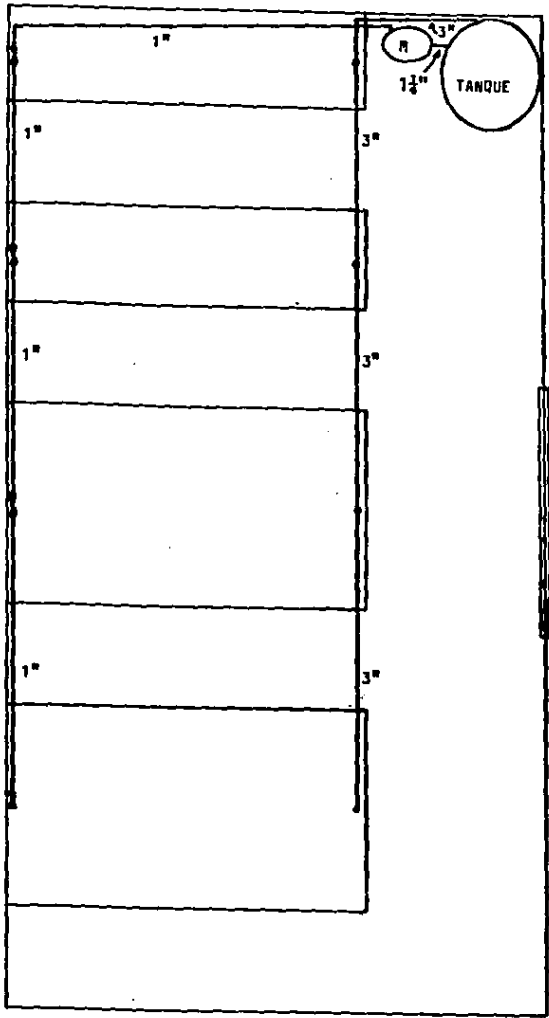
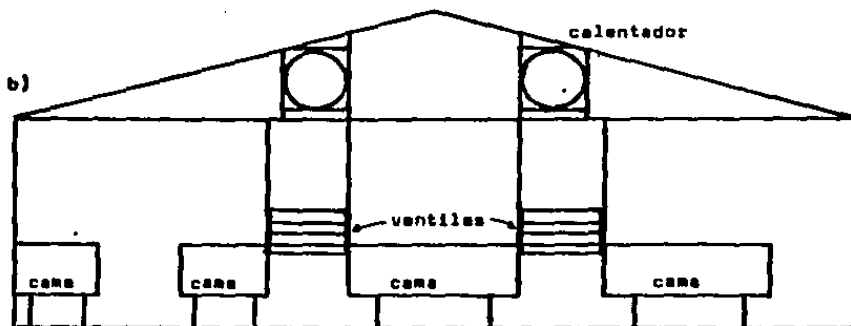
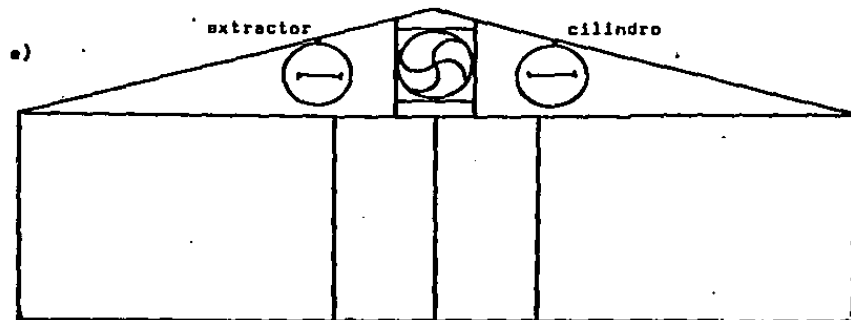


FIG. 5.2 VISTA SUPERIOR DEL INVERNADERO CON EL SISTEMA DE RIEGO

en la figura 5.3 (a). Para este sistema también es necesario colocar dos rejillas de ventilación, las cuales tienen una dimensión de 50cm X 30cm y serán situadas en la parte posterior del invernadero a 50cm del suelo, separadas entre sí un metro [figura 5.3 (b)]; para su colocación también se utilizan ángulos de la misma forma que el caso anterior.

Para el sistema de calefacción se proponen dos calentadores de aire de cuarenta centímetros de diámetro colocados en la pared posterior en la parte superior del invernadero, arriba de las ventilas de aire anteriormente mencionadas, como se ilustra en la figura 5.3 (b). A cada calentador se le deberá fijar un cilindro de polietileno cerrado en su otro extremo y con perforaciones a todo su largo que atravesarán el invernadero hasta que el extremo cerrado alcance la parte frontal de la estructura del invernadero. Estos cilindros estarán sostenidos por medio de aros de alambre y fijados a las vigas del techo del invernadero, para que no interfieran con el sistema de enfriamiento.

Por último, para el control de iluminación se deberán colocar seis tubos fluorescentes de 1.20 metros de largo y de 40 W., colocados sobre unas tiras de madera que se instalarán a lo largo del invernadero, de tal forma que queden dos tubos paralelos iluminando a cada cama de 2m X 1m y un tubo iluminará a las camas pequeñas. Para la conexión de éstos se recomienda utilizar alambre tipo AGW 14.



**FIG. 5.3 INVERNADERO CON CONTROL DE TEMPERATURA. a) VISTA FRONTAL DEL INVERNADERO CON EL EXTRACTOR PARA LA VENTILACION Y LOS CILINDROS PARA LA CALEFACCION. b) VISTA POSTERIOR CON LAS REJILLAS DE VENTILACION Y LOS CALENTADORES.**

## 5.2 INVERSIONES Y COSTOS

Como se indicó en el inciso anterior, la regulación automática del invernadero propuesto pudo haberse llevado a cabo mediante un solo circuito de control; sin embargo, se propuso un circuito para cada variable para que dependiendo de las condiciones ambientales del lugar en que se construya se elija la variable o variables que se controlarán utilizando únicamente los circuitos necesarios.

Endicho inciso se mencionó que el costo de todo el invernadero, así como el de cada sistema es variable, pues depende del tipo de material de construcción del mismo y de las camas, tipo de tuberías utilizadas, tendido de los cables, lugar de colocación de los circuitos, etc. Sin embargo, se expuso como ejemplo un caso en el que se utilizan todos los sistemas. A continuación se presenta la cotización<sup>(1)</sup> de cada sistema de este ejemplo, así como el valor de la inversión total del mismo para que en un momento dado si no se utilizan todos los sistemas, se pueda obtener el monto de la inversión fácilmente, y para tener una idea del costo total en el caso más crítico. Así mismo, se cotizan por separado los circuitos de control para los casos en que se tenga un invernadero con los sistemas manuales.

(1) Precios vigentes en mayo de 1968, en México, D.F., cotizados en pesos mexicanos.

a) CONSTRUCCION DEL INVERNADERO

CANT.	DESCRIPCION	P.UNIT.	IMPORTE
150 m.	tiras de madera de pino de 2" x 1".	1,033.00	154,950.00
7.5 m.	polietileno de 0.06 mm de espesor y 6 m. de ancho.	8,000.00	60,000.00
2 unid.	camas de fibra de vidrio - de 2m. x 1m.	169,900.00	339,800.00
2 unid.	camas de fibra de vidrio - de 2m x 0.5m.	109,900.00	219,800.00
2 m <sup>2</sup> .	agrolita.	10,998.00	21,996.00
0.5 m <sup>2</sup> .	tezontle.	50,000.00	25,000.00
6 m <sup>2</sup> .	tela de costal de nylon.	5,000.00	30,000.00
1 unid.	lote de elementos misceláneos (clavos, pegamento, - visagras, etc.).		25,000.00
<b>TOTAL CONSTRUCCION:</b>			<b>\$ 876,546.00</b>



b) CONTROL DE RIEGO

- SISTEMA:

CANT.	DESCRIPCION	P.UNIT.	IMPORTE
1 unid.	motobomba de $\frac{1}{2}$ H.P. 127 V.		171,000.00
1 unid.	tambo de 200 lt.		35,000.00
0.5 m.	tubo de PVC de $1\frac{1}{4}$ ".	3,166.00	1,583.00
6 m.	tubo de PVC de 1".	3,300.00	19,800.00
4.5 m.	tubo de PVC de 3".	6,116.00	27,522.00
4 unid.	llaves de paso de PVC 1".	20,000.00	80,000.00
1 unid.	codo de PVC 1".		3,300.00
2 unid.	codo de PVC 3".	5,700.00	11,400.00
3 unid.	conector T de PVC 3".	9,792.00	29,376.00
1 lote	material misceláneo (pegamento, abrazaderas, etc.).		20,000.00
<b>TOTAL SISTEMA DE RIEGO:</b>			<b>\$ 398,981.00</b>

- CIRCUITO DE CONTROL:

CANT.	DESCRIPCION	P.UNIT.	IMPORTE
4 unid.	resistencias de carbón depositado ( $\frac{1}{2}$ W.).	50.00	200.00
2 unid.	potenciómetros rotativos 1 ME.	1,690.00	3,380.00
1 unid.	diodo BY127M.		240.00
1 unid.	PUT 2N6116.		2,110.00
1 unid.	SCR SKT10/08.		3,260.00
1 unid.	interruptor de palanca 1 polo, 1 tiro.		580.00
1 unid.	transformador 127 V. / 12 V.		27,140.00
1 unid.	relevador.		3,200.00
1 unid.	tablilla fenólica.		950.00
1 unid.	gabinete.		3,500.00
1 lote	material misceláneo (soldadura de zinc, alambre, tornillos, - etc.).		3,000.00
<b>TOTAL CIRCUITO DE CONTROL DE RIEGO:</b>			<b>\$ 47,560.00</b>

**TOTAL CONTROL DE RIEGO:**

**\$ 446,541.00**

c) CONTROL DE TEMPERATURA

- SISTEMA:

CANT.	DESCRIPCION	P.UNIT.	IMPORTE
1 unid.	extractor 50 cm ø		180,000.00
2 unid.	rejillas de aluminio de -- 50cm. x 30cm.	34,000.00	68,000.00
2 unid.	calentador de aire.	42,000.00	84,000.00
6 m.	cilindro de polietileno.	1,300.00	7,800.00
5 m.	ángulos de fierro de ½".	8,730.00	43,650.00
1 lote	material misceláneo (alam- bre, clavos, tornillos, -- etc.).		15,000.00
TOTAL SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA:			\$398,450.00

- CIRCUITO DE CONTROL:

CANT.	DESCRIPCION	P.UNIT.	IMPORTE
18 unid.	resistencia de carbón depo- sitado (½ W ).	50.00	900.00
2 unid.	fuelle de poder 12 v.	12,000.00	24,000.00
1 unid.	termistor TN-D05-14/3.		2,610.00
3 unid.	potenciómetro rotativo	1,690.00	5,070.00
5 unid.	amplificador operacional -- µA747.	1,770.00	8,850.00
2 unid.	transistor BC337/25.	1,950.00	3,900.00
2 unid.	capacitor electrolítico -- 330µA.	250.00	500.00
2 unid.	interruptor de palanca 1polo 1 tiro.	580.00	1,160.00
2 unid.	relevadores.	3,200.00	6,400.00
1 unid.	tableta fenólica.		950.00
1 unid.	gabinete.		3,500.00
1 lote	material misceláneo (soldadu ra, alambres, etc.).		3,000.00
TOTAL CIRCUITO DE CONTROL DE TEMPERATURA:			\$60,840.00

TOTAL CONTROL DE TEMPERATURA: \$ 459,200.00

d) CONTROL DE ILUMINACION

- SISTEMA:

CANT.	DESCRIPCION	P.UNIT.	IMPORTE
6 unid.	tubo fluorescente de 1.2m. y 40 W con balastra, soportes y riel.	19,520.00	117,120.00
18 m.	tiras de madera de 1"x2".	1,033.00	18,594.00
20 m.	alambre AGW-14.	605.00	12,100.00
1 lote	material misceláneo (clavos, alambre, etc.).		15,000.00
<b>TOTAL SISTEMA CONTROL DE ILUMINACION:</b>			<b>\$162,814.00</b>

- CIRCUITO DE CONTROL:

CANT.	DESCRIPCION	P.UNIT.	IMPORTE
2 unid.	resistencia de carbón depositado ( $\frac{1}{2}$ W.).	50.00	100.00
1 unid.	resistencia de carbón depositado (5 W ).		590.00
1 unid.	potenciómetro rotativo.		1,690.00
1 unid.	fotoresistencia de CdS.		2,830.00
1 unid.	capacitor electrolítico 47 $\mu$ F.		250.00
1 unid.	diodo BY127M.		240.00
1 unid.	TRIAC SC146B1.		4,180.00
1 unid.	relevador.		3,200.00
1 unid.	interruptor de palanca 1 polo, 1 tiro.		580.00
1 unid.	gabinete.		3,500.00
1 unid.	tableta fénolica.		950.00
1 lote	material misceláneo (tornillo, soldadura, etc.).		3,000.00
<b>TOTAL CIRCUITO DE CONTROL DE ILUMINACION:</b>			<b>\$21,100.00</b>

**TOTAL CONTROL DE ILUMINACION:      \$ 183,924.00**

Para el caso que se analiza, en el que se utilizan todos los sistemas, la inversión necesaria para la construcción del invernadero y el implantamiento de los sistemas se presenta en la tabla 5.1, misma que resume las cotizaciones anteriores.

CONSTRUCCION DEL INVERNADERO:	\$ 876,546.00
CONTROL DE RIEGO:	446,541.00
CONTROL DE TEMPERATURA:	459,200.00
CONTROL DE ILUMINACION:	183,924.00
TOTAL:	\$1'966,211.00

TABLA 5.1 RESUMEN DE LA INVERSION NECESARIA PARA LA CREACION DEL INVERNADERO Y COSTO TOTAL .

Cabe mencionar que únicamente se están considerando los costos directos de materiales; para un estudio más profundo se deben considerar también los costos por mano de obra, equipo utilizado y costos indirectos.

### 5.3 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL INVERNADERO

Antes de realizar culaquier inversión es importante conocer - el tiempo de recuperación de la misma, es decir, es conveniente realizar un estudio de factibilidad del objeto de la inversión. Para nuestro caso, los costos que intervienen para este fin no son únicamente los expuestos en el inciso anterior, ya que también son necesarios algunos gastos que se realizan continuamente, como son el pago de agua, luz, semillas y sales minerales.

El monto de estos gastos no es constante ya que depende en -- gran medida de las condiciones ambientales, las cuales difieren según la época del año; sin embargo, para facilitar el -- cálculo y únicamente como ejemplo, se asumirá un costo mensual promedio de \$9,000.00 por estos conceptos.

Ahora bien, para poder realizar dicho cálculo únicamente nos falta conocer las ganancias que obtenemos del invernadero las cuales se presentan a continuación:

CANT. *	LEGUMBRE	P.UNIT.	IMPORTE
4 manojos	Acelga	263.00	1,050.00
800 gr	Betabel	631.00	504.00
1 Kg	Calabacita	1,658.00	1,658.00
400 gr	Cebolla	1,459.00	583.60
2 manojos	Cebollín	305.00	610.00
3 manojos	Cilantro	265.00	795.00
1 pza.	Col	195.00	195.00
1.5 pza.	Coliflor	1,474.00	2,211.00

\* cantidad mensual promedio

CANT.*	LEGUMBRE	P.UNIT.	IMPORTE
0.5 Kg	Chicharo	3,877.00	1,938.50
2 manojos	Espinaca	372.00	744.00
1 Kg	Frijol	905.00	905.00
8 Kg	Jitomate	985.00	7,880.00
2 pza.	Lechuga	675.00	1,350.00
1 Kg	Pepino	749.00	749.00
2 manojos	Perejil	196.00	392.00
3 manojos	Rábano	1,144.00	3,432.00
0.5 Kg	Zanahoria	892.00	446.00

TOTAL: \$ 25,443.00

\* cantidad mensual

Por lo tanto, las ganancias netas mensuales serán de \$16,443.10.

Antes de continuar con este estudio, calculemos el tiempo de recuperación considerando únicamente los gastos presentados - hasta el momento, es decir sin considerar intereses, depreciación de la inversión, mantenimiento general, etc. Tomando en cuenta las ganancias netas antes mencionadas y estos gastos, la inversión para la creación del invernadero se podría recuperar en diez años.

Dado que este tiempo de recuperación es muy grande para la inversión realizada, aún sin considerar los gastos generados a lo largo de dicho tiempo, así como la mano de obra, reposición de materiales, depreciación, etc., no considero necesario continuar con el estudio de factibilidad, pues sólo se comprobaría que es un tiempo mucho mayor.

## CONCLUSIONES

En la ciudad de México, como en las grandes ciudades, cada vez es más difícil obtener las legumbres necesarias para una buena alimentación. La creación de invernaderos caseros puede ayudar a esta situación.

La finalidad de todo invernadero es mejorar el rendimiento y la calidad de los cultivos, esto se logra modificando los factores ambientales que intervienen en el crecimiento y desarrollo de las plantas, como son: agua, luz, aire, sales minerales y sustentación para las raíces; de tal forma que las plantas los reciban en la forma y cantidad adecuada.

Una manera de que el cultivo adquiera las sales minerales adecuadas es utilizando el método hidropónico, en el que el medio de sustentación es un material inorgánico (arena, grava, vermiculita, agrolita, tezontle, etc.) y las sales se encuentran disueltas en agua formando un líquido nutritivo que se les debe proporcionar con la frecuencia y en las cantidades que las plantas lo requieran.

Para proporcionar este líquido nutritivo existen diversos sistemas, de los cuales se debe seleccionar el que se adapte mejor a las necesidades del invernadero en cuestión. En los invernaderos comerciales se utiliza un circuito de reloj que en-

ciende una motobomba cada determiando tiempo; sin embargo, con sidero que para el caso aquí estudiado, un sistema que realice el riego cada vez que las plantas lo necesiten y de forma que el agua se esté recirculando para que obtenga la oxigenación - necesaria, es el adecuado. Esto se logra con una motobomba y un circuito de control que la haga trabajar cuando el cultivo lo necesite. Existen un sin número de circuitos, realizados - con diversos componentes, que pueden accionar la bomba de esta manera; sin embargo actualmente se están utilizando dispositivos pnpn para accionar los motores, esto se debe en gran parte a la potencia que manejan y a su velocidad de conmutación, por lo que se recomienda para nuestro caso.

En un cultivo hidropónico el factor más importante para el buen desarrollo y crecimiento de las plantas es el suministro de es te líquido, de ahí la importancia de su control. Sin embargo, considero que para un invernadero casero de dimensiones muy pe queñas no es necesario, ya que las plantas necesitan regarse - muy poco y el riego se puede hacer manualmente.

Otro de los factores que más afectan a las plantas es la tempe ratura. Es por esto que en la mayoría de los invernaderos co merciales se tiene un control de la misma, además de que con - un buen control de temperatura se tendrá la humedad ambiental - adecuada para el cultivo. En la ciudad de México no se tienen temperaturas muy bajas, por lo que únicamente es necesario el control de enfriamiento.

Uno de los sistemas de enfriamiento más utilizados en inverna-



deros industriales es por medio de ventanas o ventiladores accionados por un sistema mecánico, aunque se obtienen mejores resultados con extractores de aire accionados mediante un sistema eléctrico.

Para lugares de clima muy frío, en los que se requiere un sistema de calefacción, ésta puede proporcionarse por medio de sistemas de agua o de aire, siendo los más fáciles de instalar los de aire. Además existen sistemas de calefacción eléctricos que son más económicos ya que no necesitan calderas ni intercambiadores de calor, pero tienen la desventaja de no distribuir el calor uniformemente por todo el invernadero. Por lo que se recomienda un sistema de calefacción de aire en combinación con uno eléctrico, en el que el aire pasa a través de unas resistencias para calentarse y después un ventilador lo distribuye por todo el lugar.

Para accionar ambos sistemas, enfriamiento y calefacción, existen diversos reguladores que pueden ser mecánicos o eléctricos. Los más utilizados son los mecánicos debido a la sencillez de su funcionamiento, aunque generalmente se necesita un regulador para el enfriamiento y otro para la calefacción. Un circuito electrónico puede resultar más preciso y económico, por ejemplo se puede utilizar un circuito realizado con un amplificador de instrumentación que es de gran precisión y que pueda encender tanto la calefacción como el enfriamiento.

La luz es el otro factor esencial para el desarrollo de las -

plantas ya que de ella obtienen la energía necesaria para realizar la fotosíntesis, por lo que deben estar iluminadas por periodos prolongados de tiempo. Sin embargo, para determinadas especies como las hortalizas, es conveniente dejarlas descansar. Así, en la ciudad de México la luz solar es suficiente, pero en lugares en donde oscurece muy temprano y amanece muy tarde o en lugares encerrados se recomienda luz artificial, teniendo cuidado que no vaya a quemar a las plantas.

En el control de iluminación artificial se puede utilizar un circuito de reloj que encienda las lámparas cada determinado tiempo, o bien un circuito que las encienda cuando la luz natural no sea la suficiente, siendo éste último el más adecuado ya que no siempre oscurece a la misma hora.

Para sensar la cantidad de luz existen diversos dispositivos electrónicos, como son fotoceldas, fototransistores y fotodiodos. Se recomiendan las fotoceldas por ser más económicas y fáciles de manejar. Es por esto que los circuitos en los que una fotoresistencia sensa la cantidad de luz y enciende las lámparas cuando no es suficiente son muy utilizados en invernaderos comerciales.

En invernaderos experimentales o industriales, en los que se precisa mayor control, se utilizan controles de temperatura y iluminación proporcionales. Sin embargo para invernaderos caseros no son necesarios.

Resumiendo, en un invernadero no es necesario implantar todos

los sistemas de control aquí expuestos, pues manualmente se -- pueden controlar estas variables. Además, en lugares como la ciudad de México las condiciones ambientales son adecuadas para los cultivos, si acaso, se debe proporcionar cierta ventilación que puede realizarse con ventanas que se abran manualmente. - Con un invernadero de este tipo se recuperaría la inversión en dos años <sup>(1)</sup>; en cambio, uno con todos los sistemas de control - no es redituable, pues se recuperaría en diez años.

Por esto, considero que la creación de invernaderos hidropónicos caseros, sin ningún control, ayudarían en gran medida al - abastecimiento de verduras en las grandes ciudades. Sin embargo, para invernaderos comerciales la utilización de dichos invernaderos de control puede mejorar el rendimiento de los mismos.

(1) ESPINOSA, P.R. "Estudio Valorativo del Establecimiento de Huertos Familiares en Hidroponía bajo Investigación".

## BIBLIOGRAFIA

- BECHTEL. "Instrumentation Systems Shielding and Grounding, - Design Guide". Julio 1974. 27 pp.
- BECHTEL. "Temperature Sensing, Design Guide". Diciembre 1976. 47 pp.
- BOYLESTAD, R., NASHESKY, L. "Electrónica, Teoría de Circuitos". Colombia, Colombia: Editorial Prentice-Hall Internacional, 1983. 784 pp.
- BUTLER, J.D., OEBKER, N.F. "Aplicación y Técnica de la Hidropónia". Illinois Agricultural Extension, U.S.A. Circular 844.
- CHONG, A. "Curso de Hidropónia Básica" México, D.F.: Corporación Hidropónica de México, 1987. 394 pp.
- COUGHLIN, R.F., DRISCOLL, F.F. "Circuitos Integrados Lineales y Amplificadores Operacionales". Segunda Edición, México, D. F.: Editorial Prentice-Hall Internacional, 1987. 394 pp.
- CRIADO, J.A., OTERO, E. "Criterios para la Selección de Temperaturas" Ingeniería Química. Madrid, España, Agosto 1986, p. 39-41.
- DEVALL, D.W. "Accuracy in Signal Conversion" Instrumentation Technology. Marzo 1985. p. 41-43.
- DIESTEFANO III, J., Y COL. "Retroalimentación y Sistemas de Control". México, D.F.: Editorial Mc. Graw Hill de México, - 1981. 372 pp.
- DOEBLIN, E. "Diseño y Aplicación de Sistemas de Medición". - Primera edición, México, D.F.: Editorial Diana, 1981. 732 pp.
- DOUGLAS, J.S. "Hidroponia, Como Cultivar sin Tierra". Segunda edición, Buenos Aires, Argentina: Editorial el Ateneo, -- 1983. 156 pp.
- ESPINOSA, P.R. "Estudio Valorativo del Establecimiento de -- Huertos Familiares en Hidropónia bajo Investigación". México: Universidad Autónoma de Chapingo, 1985.
- GARVIN, G.L. "Reader's Circuit" Popular Electronics. Octubre 1968. p.85-86.

- GENERAL ELECTRIC. " Electronic Experimenters Circuit Manual" Tercera edición, Owensboro, K.Y., U.S.A., 1971. 253 pp.
- HOROWITZ, P. "The Art of Electronics" Primera edición, Winfield Hill: Universidad de Cambridge, U.S.A., 1980. pp 716.
- HUTERWAL, G.O. "Hidropónia, Cultivo de Plantas sin Tierra" - Segunda edición, Buenos Aires, Argentina: Editorial Albatros, 1977. 251 pp.
- JIMENEZ, M. "Apuntes de Medición e Instrumentación", sexto - semestre de Ingeniería Mecánica Electricista, 1986.
- KAUFMAN, S. "Electrónica Práctica". Primera edición, México, D.F.: Editorial Mc. Graw Hill de México, 1986. 569 pp.
- LARA A. H. "Proyecto de un curso de capacitación para especialistas en Instrumentación Industrial en una Empresa de Servicio de Ventas y Mantenimiento". México, D.F.: Universidad La Salle. 1982. 119 pp.
- LEGER, R. "Otros 37 Circuitos con Transistores" Buenos Aires, Argentina: Editorial Kapelus, 1970. 77 pp.
- LEGER, R. "Otros 38 Circuitos con Transistores" Buenos Aires, Argentina: Editorial Kapelus, 1970. 77 pp.
- LOVE. "Single and Dual Set Point Solid State Temperature Controllers" Controls Corporation: Boletín 9456. Octubre 1974, - Illinois.
- LOZANO, P.M. "Generación de una Base de Datos para el manejo de Información Proveniente de un Centro de Cultivos Hidropónicos". México: Universidad de Chapingo, 1983. 65 pp.
- MALVINO, P.A. " Principios de Electrónica". Tercera edición, México, D.F.: Editorial Mc. Graw Hill de México, 1982. 781 pp.
- MARKUS, J. "Guide Book of Electronic Circuits" U.S.A.: Mc. - Graw Hill Book Company, 1974. 1067 pp.
- MOTOROLA SEMICONDUCTOR "Applications of Phototransistors in - Electro-Optic Systems", Documento número AN-508. Phoenix, -- Arizona, 1971.
- MOTOROLA SEMICONDUCTOR " Home Handyman's Construction Projects" Documento número HMA-37. Phoenix, Arizona, 1972.
- MURPHY, E.E. "Whatever Happened to Geoponics?", Spectrum. -- Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, Noviembre 1987, p.17.

- OGATA, K. "Ingeniería de Control Moderna". Primera edición, - Estado de México: Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana, 1984. 902 pp.
- PHILLIPS. "Electronic Engineer (libro de instrucción)." Holanda, 1964. 72 pp.
- PHILLIPS, W.H. Y COL. "Hydroponics". Chicago, Illinois, 1982. 9 pp.
- RESH, H.M. "Cultivos Hidropónicos. Nuevas Técnicas de Producción". Primera edición, Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa, 1982. 287 pp.
- S.O.R. "Pressure & Temperature Switches for Industry". Olathe, Kansas, 1985. 12 pp.
- TOCCI, R.J. "Circuitos y Dispositivos Electrónicos". México, D.F.: Editorial Interamericana, 1985. 560 pp.
- TOOVEY, F.W. "Invernaderos Comerciales: Construcción y Calefacción". Segunda edición, Madrid, España: Editorial Acriba, 1981. 208 pp.
- TORRES, H.J. "Apuntes de Temas Selectos de Electrónica", noveno semestre de Ingeniería Mecánica Electricista, 1987.

**TESIS PROFESIONALES**  
**Mecanografía e Impresión**

**Campo No. 156, Col. Roma**

**México, D. F. 06700**

**564-2954 y 564-8153**