



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA
E INDUSTRIAL**

**Desarrollo de un controlador de temperatura para
invernaderos de jitomate de variedad Aztec**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

INGENIERO MECATRÓNICO

PRESENTA:

MIGUEL ANGEL ENCISO ALCANTARA



Director de tesis: M. en I. Jesús Vicente González Sosa

2011

AGRADECIMIENTOS

*A mi familia por
el apoyo y
confianza que me
dieron en la
realización de mis
sueños. Sé que
puede contar con
ellos siempre...*

*A mi
Universidad, mi
Facultad y mis
Profesores por los
conocimientos que
me dejan como
herencia para
hacer de mí un ser
humano mejor...*

*A mis amigos por
sus consejos y por
los momentos de
alegría que
vivimos cuando
más los
necesitaba...*

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN.....	2
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
JUSTIFICACIÓN DEL TEMA.....	7
OBJETIVO GENERAL.....	12
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
HIPÓTESIS	12
METODOLOGÍA	12
DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO.....	13
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	14
INVERNADEROS.....	14
TIPOS DE JITOMATES Y SUS CARACTERÍSTICAS.....	19
TEMPERATURA EN INVERNADEROS	21
CLIMATIZACIÓN DE INVERNADEROS DURANTE PERÍODOS FRÍOS	23
SISTEMAS DE CALEFACCIÓN	24
MATERIALES DE CUBIERTA	26
EMPLEO DE PANTALLAS TÉRMICAS	27
CLIMATIZACIÓN DE INVERNADEROS EN PERÍODOS CÁLIDOS	29
VENTILACIÓN	30
VENTILACIÓN NATURAL O PASIVA	30
VENTILACIÓN MECÁNICA O FORZADA	31
REDUCCIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR QUE LLEGA AL CULTIVO	32
REFRIGERACIÓN POR VAPOR DE AGUA.....	32
NEBULIZACIÓN (Fog system)	33
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO (Cooling system)	33
CAPÍTULO II. DESARROLLO DEL CONTROLADOR.....	35
CLASIFICACIÓN DE CONTROLADORES DE TEMPERATURA	35
SENSORES DE TEMPERATURA.....	38
ANÁLISIS DEL CONTROLADOR	40
REQUERIMIENTOS.....	41
ESPECIFICACIONES	42
ALTERNATIVAS DE CONTROLES EN INVERNADEROS (BENCHMARKING)	44
TIPOS DE CONTROLADORES.....	46
ON/OFF.....	46
PROPORCIONAL	47
PID	47
CAPÍTULO III. EVALUACIÓN.....	48
ELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN PARA LA APLICACIÓN EN LOS INVERNADEROS	48
MATRICES DE DECISIÓN	52
DIAGRAMA DE BLOQUES DEL CONTROLADOR	54
CAPÍTULO IV. SIMULACIÓN.....	58
ARMADO DEL CONTROLADOR.....	58
APLICACIÓN DE PROGRAMAS DE SIMULACIÓN	61

VALIDACIÓN DEL CONTROLADOR	65
<i>CAPÍTULO V. PROTOTIPO.....</i>	69
CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPOS DE INVERNADERO Y CONTROLADOR	69
EVALUACIÓN DE SU FUNCIONAMIENTO	80
<i>CAPÍTULO VI. RESULTADOS</i>	83
TABLAS COMPARATIVAS.....	83
<i>CONCLUSIONES.....</i>	93
TEÓRICAS.....	93
PRÁCTICAS.....	94
<i>ANEXOS</i>	96
ESPECIFICACIONES FINALES	96
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	113
LIBROS DE TEXTO	113
ARTÍCULOS CIENTÍFICOS	114
MESOGRAFÍA.....	115

RESUMEN

Este trabajo se propone demostrar la eficacia en el cultivo de hortalizas en un invernadero, específicamente del jitomate variedad “Aztec”, con el empleo de un controlador de temperatura construido con materiales fáciles de adquirir y a bajo costo, en comparación con los modelos de controladores, la mayoría de importación, que existen en el mercado en la actualidad.

Las bases teóricas y prácticas del empleo de este controlador se plantean a lo largo de la presente investigación, lo que pone de manifiesto la viabilidad de este instrumento para el manejo del microclima dentro de un invernadero, independientemente de la variación de temperatura que se presente en el exterior del mismo.

Para el desarrollo del controlador se utilizó una estructura existente la cuál sirvió como invernadero y donde se implementaron los sistemas adecuados para el cultivo de jitomate. Aunado a ello se tomaron en cuenta características como dimensión, ubicación (de la estructura y las plantas), orientación, así como el factor clima.

Para la implementación del controlador se plantaron semillas de la variedad de jitomate “Aztec” y se registraron los datos de temperatura para verificar que el crecimiento de las plantas fuera el esperado.

Es por lo anterior que el presente trabajo tiene como finalidad desarrollar un control de temperatura en un invernadero donde se cultive jitomate, al poner en práctica los conocimientos adquiridos sobre automatización, así como motivar a profesionales de diversas ramas, ingenieros, técnicos o productores involucrados en el manejo productivo no solo del jitomate sino de otros productos para retomar ideas y aplicarlas a sus cultivos.

INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de la Ingeniería mecatrónica consiste en impulsar el desarrollo de los procesos tecnológicos para aplicarlos en los diferentes sectores donde se requiera la automatización y el control de maquinaria, así como la implementación de dispositivos electrónicos que sean o no programables.

Uno de los propósitos del egresado de la carrera de Ingeniería mecatrónica es brindar a la sociedad mejores niveles de bienestar al optimizar sistemas productivos y, al mismo tiempo, tomar en cuenta la protección y cuidado que requiere el medio ambiente.

Una solución al problema que vive en la actualidad el campo mexicano puede ser la creación de invernaderos que funcionen en regiones difíciles para la agricultura obteniendo con ésto una producción segura, de buena calidad y durante todo el año.

México se ha caracterizado por ser un país con gran historia agrícola. Sin embargo, la agricultura en nuestro país se ha basado en el cultivo de productos donde la aplicación de tecnología es mínima, por lo general se cultivan productos en grandes extensiones de tierra donde la producción se ve afectada por las inclemencias del tiempo, la presencia o ausencia de lluvias; es decir, es mayormente agricultura de temporal.

Es importante destacar que el escaso empleo de nuevas tecnologías de siembra, cultivo o recolección ha ocasionado un estancamiento significativo en el desarrollo agropecuario. Sin embargo, donde se aplica la tecnología en la agricultura se crean zonas altamente productivas pero cuya producción no se considera para abastecer al mercado interno, sino que se destina a las exportaciones, en su mayoría para los Estados Unidos de América.

Muestra de ello es el desglosado de exportaciones e importaciones que da a conocer el INEGI para los años 2005 y 2010:

Socios comerciales de México (2005, 2010)

Exportaciones a		Importaciones de		Exportaciones a		Importaciones de	
País	%	País	%	País	%	País	%
 EUA	88,4	 EUA	68,4	 EUA	80	 EUA	48,1
 Canadá	2,0	 Japón	4,7	 Canadá	3,6	 China	15,1
 Alemania	0,9	 Alemania	3,6	 China	1,4	 Japón	5,0
 España	0,8	 Canadá	2,5	 España	1,3	 Corea	4,2
 Antillas N.	0,6	 China	2,2	 Brasil	1,3	 Alemania	3,7
 Japón	0,4	 Corea	2,1	 Colombia	1,3	 Canadá	2,9
 Reino Unido	0,4	 Taiwán	1,6	 Alemania	1,2	 Taiwán	1,9
 Venezuela	0,4	 Italia	1,6	 Japón	0,6	 Malasia	1,8
Otros	6,1	Otros	13,3	 Chile	0,6	 Brasil	1,4
INEGI, 2005				 Países Bajos	0,6	 Italia	1,3
				Otros	8,2	Otros	14,7
				INEGI, 2010			

Tabla 1.1 Exportaciones e importaciones de México con sus principales socios comerciales.¹

En la tabla 1.1 se observa el porcentaje de exportaciones e importaciones que realiza México con otros países en los años 2005 y 2010. En ella destaca que el mayor porcentaje de transacciones económicas, aún cuando existe variación entre un año y otro, en esencia, es con nuestro principal socio comercial, Estados Unidos de América.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En México la agricultura ha sido y sigue siendo una de las actividades económicas de mayor peso para el desarrollo económico del país. En relación con el campo mexicano, se practican dos tipos de agricultura: de temporal y de riego.

En México existen cultivos importantes: unos para la alimentación de sus habitantes, como el maíz, frijol, trigo y chile; otros destinados al sustento del ganado como el sorgo; y algunos más para la exportación como el algodón, café, jitomate y cacao².

Con respecto a los cultivos destinados a la exportación se hace especial énfasis en el jitomate, que es la hortaliza que más divisas capta, como se observa en la tabla 1.2 correspondiente a las ganancias obtenidas por exportación de productos agropecuarios y pesqueros en millones de dólares en comparativo con las ganancias que produce el jitomate por el mismo rubro.

¹ www.inegi.org.mx

² http://www.conevyt.org.mx/colaboracion/colabora/objetivos/libros_pdf/sso1_u2lecc3.pdf

CONCEPTO	2007	2008	2009	2010
Ganancias obtenidas por exportación de jitomate.	14.41%	15.26%	15.67%	20.37%
Ganancias obtenidas por exportación de productos agropecuarios y pesqueros	85.59%	84.74%	84.33%	79.63%

Tabla 1.2 Porcentaje de ingresos obtenidos por exportaciones totales y de jitomate.

Con respecto a la siembra de jitomate a continuación se muestra, en la figura 1.1, la distribución de la superficie sembrada en el año 2009 junto con la tabla que indica la cantidad de hectáreas cultivadas con esta hortaliza por Entidad Federativa.

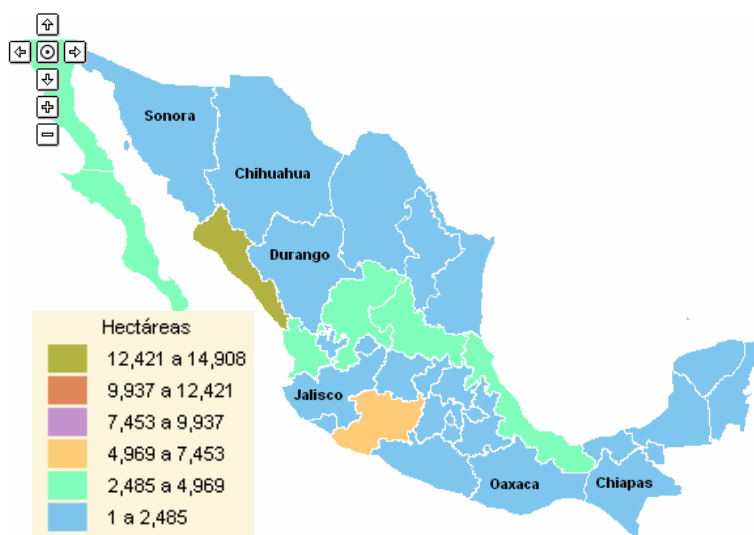




Fig. 1.1 Superficie de México sembrada de tomate rojo (2009).³

En esta figura 1.1 se muestra que la superficie de siembra dedicada al cultivo de tomate rojo o jitomate para el año 2009 es de 53,574 hectáreas de un total nacional de siembra de todos los productos agrícolas que se produjeron en nuestro país para el mismo año que es de 21,855,443 de hectáreas, que en porcentaje, el cultivo de jitomate representa únicamente el 0.24% de superficie del total del país dedicado a la agricultura.

Si se toma en cuenta que el jitomate es una hortaliza con un alto nivel nutritivo, gran capacidad de transformación industrial y con un amplio mercado internacional por su extensa gama de uso, es importante considerar que el aumento de su producción sería en beneficio de mucha gente dedicada a la agricultura.

En el pasado la agricultura en México se caracterizó por usar una tecnología empírica y poco productiva, la del presente se caracteriza por el uso de dos tecnologías.

³ www.inegi.org.mx

La agricultura poco productiva se sostiene en las características de la misma del pasado, empleada en las áreas de temporal, por lo general utilizada por personas de bajos recursos.

La segunda es una tecnología importada de Estados Unidos, cara, derrochadora de energía y desplazadora de mano de obra, ha empobrecido a muchos y no siempre ha enriquecido a sus usuarios, ya que son frecuentes los negocios agrícolas que van a la quiebra.

La agricultura del futuro deberá tener una sólida base social y científica. En lo que se refiere al aspecto social, deberá ser creadora de empleos y permitir la competencia entre los empresarios agrícolas, pero favoreciendo el desarrollo de tecnologías de baja inversión, además deberá ser congruente con el medio social de la región.

En el aspecto científico debemos señalar que se requiere cada vez más investigación aplicada al campo agrícola y que desarrollada en nuestro país derive en una producción mayor y mejorada que al mismo tiempo reduzcan o se eliminen los costos de importación de tecnología extranjera. En México las investigaciones relacionadas con el campo son incipientes pero con mucho futuro.

En cuanto a la limitación del área de las superficies de producción, sería factible la creación de cooperativas donde los gastos de implementación sean equitativos entre los miembros, para que las utilidades generadas sean repartidas de forma justa. Aplicar tecnología a espacios muy reducidos implicaría una gran carga económica que probablemente no signifique beneficio alguno.

El desarrollo del presente trabajo puede ser una alternativa de apoyo a la solución del problema agrícola que aqueja a México, por lo que, después de haber revisado la problemática se plantean los siguientes cuestionamientos:

- ¿Por qué considerar al jitomate como hortaliza viable de cultivarse en invernadero?
- ¿Qué variedades de jitomate existen y por qué elegir una en particular?
- ¿Qué características debe tener un control de temperatura ubicado dentro de un invernadero para mejorar la producción de jitomate?
- ¿Qué resultados se obtendrán al controlar la temperatura dentro de un invernadero?

JUSTIFICACIÓN DEL TEMA

El presente trabajo propone una solución al cultivo de jitomate en invernadero porque representa una de las alternativas que mayores beneficios aporta en términos de economía y protección ecológica. Esta tecnología de producción es factible de implementar en las zonas agrícolas de difícil acceso, además de significar la oportunidad de mejorar las condiciones de producción y de capacitación de los productores agrícolas en estas tecnologías, mediante la demostración práctica y capacitación constante de las actividades principales realizadas en el cultivo de jitomate.

En México, esta hortaliza, tiene un impacto significativo para la economía, ya que su producción dentro del país para el mercado industrial, consumo natural y exportación, ha ido en aumento conforme a la demanda existente, lo que hace generar empleos directos e indirectos en la cosecha y producción.

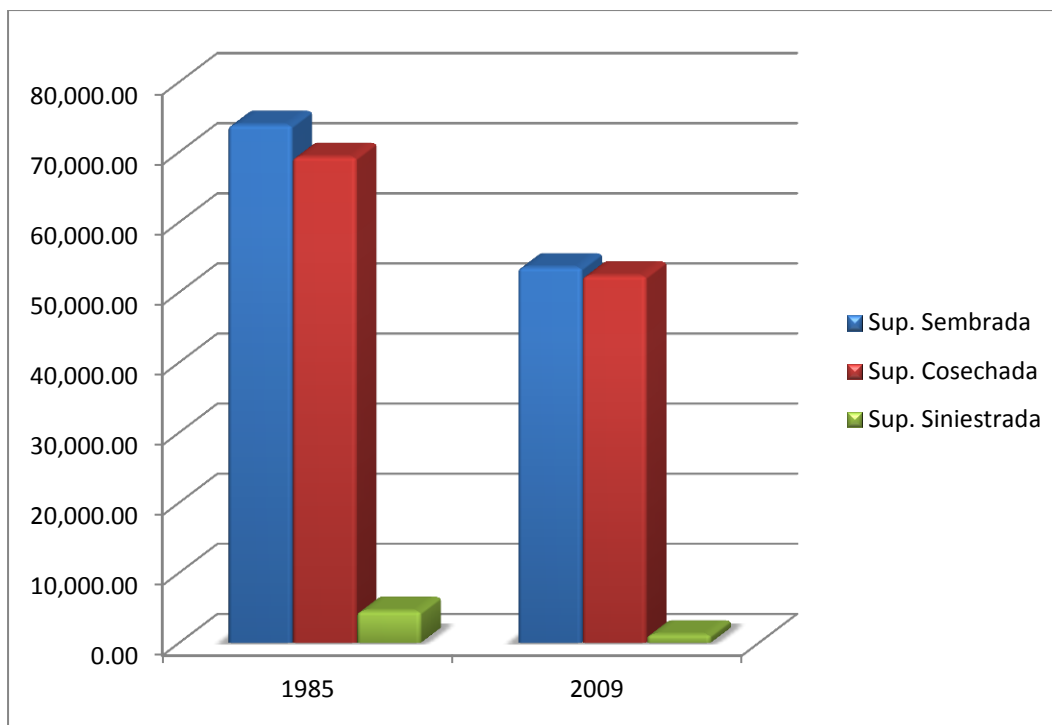
Con respecto a la producción, a continuación se muestra una tabla donde se plasman las superficies sembradas, cosechadas y siniestradas del jitomate en un comparativo para los años 1985 y 2009.

PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
Ciclo: Año Agrícola OI+PV 1985 Y 2009
Modalidad: Riego + Temporal
TOMATE ROJO (JITOMATE)

AÑO	Sup. Sembrada (Ha)	Sup. Cosechada (Ha)	Sup. Siniestrada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)	PMR (\$/Ton)	Valor Producción (Miles de Pesos)
1985	73,878.00	69,329.00	4,549.00	1,616,394.00	23.31	53.11	85,847.45
2009	53,574.62	52,383.63	1,190.99	2,043,814.55	39.02	5,985.58	12,233,405.88

Tabla 1.3 Producción agrícola.⁴

⁴ http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=10&Itemid=15



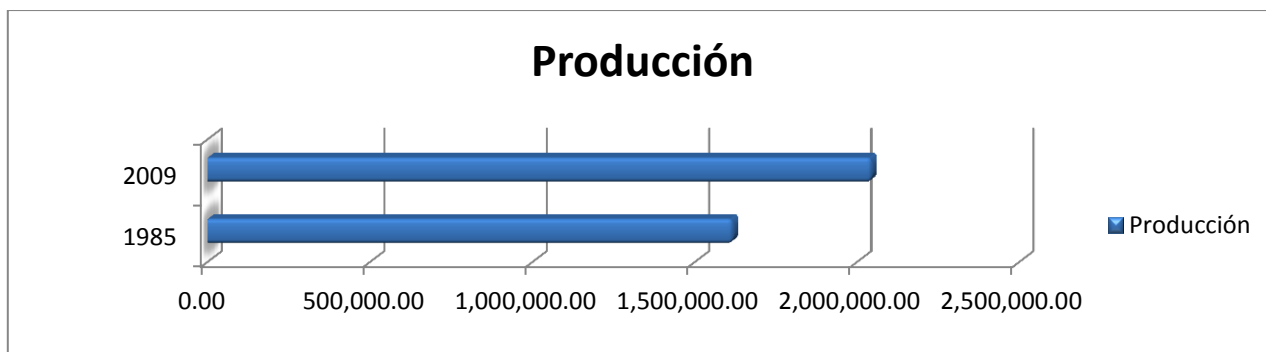
Gráfica 1.1 Comparativa de superficies en Hectáreas de Jitomate en México.

Como se puede observar en la tabla y gráfica anterior, se muestra la superficie en hectáreas sembrada, cosechada y siniestrada para dos períodos diferentes, 1985 y 2009, y en la segunda parte de la tabla refleja un aspecto primordial, que se refiere a la producción en toneladas de jitomate.

La quinta columna de la tabla es sumamente importante ya que nos señala el rendimiento de toneladas de jitomate cosechadas por hectárea, lo que de algún modo se ve influenciado por la aplicación de tecnología al sistema de cultivo.

El valor de la producción que aparece en la sexta columna no es un dato comparable debido a los cambios de moneda (del año 1992, donde se eliminaron tres ceros a la moneda), la inflación y el índice de precios que en 24 años es muy variable.

Un dato que resulta significativo observar es la producción de jitomate en la siguiente gráfica comparativa para los años 1985 y 2009.



Gráfica 1.2 Comparativa de producción en Hectáreas de Jitomate en México.

Si se analiza la gráfica, la producción comparativa de los períodos 1985 y 2009 muestra un incremento sustancial, sin embargo, podemos verificar que la superficie dedicada a la siembra sufrió un decremento.

Lo anterior nos permite considerar que en la siembra de esta hortaliza se ha implementado tecnología o aplicado algún tipo de procesos químicos para que la producción/área de siembra sea mayor con el paso del tiempo.

De acuerdo con los datos de la tabla 1.2, obtenidos de SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera), se aprecia que se generan en el año de 1985 aproximadamente 2.19 [kg/m²] y en el 2009, 3.82 [kg/m²] de jitomate rojo en la República Mexicana, lo que se traduce en un incremento del 74% con respecto al año de 1985.

Una planta produce de 2 a 3 kg. de frutos, según las variedades, por lo que se puede esperar un rendimiento de 6 a 8 [kg/m²]. Si destinas 10 [m²] al cultivo de tomates, obtendrías 60-80 kilos. La recolección es escalonada y larga. Comenzará a las 10 ó 12 semanas después de la siembra.⁵

La producción nacional para abastecer el consumo se ubicó en 2,727,691 toneladas, suficiente para repartir 25 kilos a cada habitante del país. En los últimos años, por ventas al extranjero ingresaron al país más de mil millones de dólares en promedio anual.⁶

⁵<http://articulos.infojardin.com/huerto/Fichas/tomate.htm>

⁶http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=264&Itemid=427



Fig. 1.2 Distribución y producción geográfica del jitomate rojo.⁷

En México el jitomate o tomate está considerado como la segunda especie hortícola más importante por la superficie sembrada y como la primera por su valor de producción.

Esta hortaliza de fruto se encuentra en los mercados durante todo el año, y se consume tanto fresca como procesada (puré), siendo una fuente rica en vitaminas.

Como podemos observar en la tabla 1.4, el jitomate rojo es un fruto con alta concentración de líquido (agua) y que a su vez cumple como un alimento balanceado por las vitaminas y minerales que se considera dentro del mínimo recomendado diario para el ser humano.

⁷<http://www.siap.gob.mx/>

Composición química/100 g			Ácido ascórbico	17.6	mg
Agua	94.0	g	Vitamina A	1,113	UI*
Calcio	7.0	mg	Carbohidratos	4.3	g
Fierro	0.5	mg	Fibra	0.5	g
Fósforo	23.0	mg	Grasa	0.2	g
Potasio	204.0	mg	Proteínas	0.9	g
Sodio	13.0	mg	Energía	19.0	kcal

* 1 UI de vitamina A: el equivalente biológico de 0,3 µg de retinol, o de 1,8 µg de beta-caroteno.

Tabla 1.4 Composición química del jitomate.⁸

Se sabe que del cien por ciento de cosecha anual en México, el 60% es utilizado por la industria para ser procesado y transformado en un producto, ya sea deshidratado, enlatado, etc., el 30% es único y exclusivo para el consumo humano y el restante 10% es deshecho o también llamado fruto que no cumplió con las normas para su consumo.⁹



Fig. 1.3 y 1.4 Fotografías obtenidas de tiendas de autoservicio, que muestran la venta de productos industrializados de jitomate.

⁸ <http://www.faxsa.com.mx/semhort1/c60tf001.htm>

⁹ *Ibíd.*

OBJETIVO GENERAL

Identificar y seleccionar un elemento que permita controlar las condiciones de temperatura para la producción de hortalizas, concretamente aplicadas al cultivo de jitomate, para que cada una de sus etapas de desarrollo se cumpla en el tiempo y forma natural de la planta y esto favorezca obtener cosechas en cualquier temporada del año.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar las diferentes variedades de jitomate más importantes para elegir la que se cultivará en el invernadero.
- Definir las características que debe tener un invernadero para los fines de este proyecto.
- Detallar diversos modelos de controladores de temperatura y optar por el más adecuado para el desarrollo de un prototipo.
- Implementar el controlador de temperatura elegido para un prototipo de invernadero.

HIPÓTESIS

Al mejorar las condiciones de temperatura en un invernadero, se incrementará la producción de jitomate siendo éstos de mejor calidad lo que permitirá su competitividad en los mercados internacionales.

METODOLOGÍA

Durante el desarrollo de un proyecto de ingeniería se establecen diferentes metodologías para su realización, de las cuales se toma la siguiente, que forma parte fundamental en el proceso de un trabajo de esta índole.

Para la realización de esta investigación se cumplieron dos etapas principales que fueron la planeación y la ejecución.

La primera etapa, consistió en la identificación y delimitación del problema con objeto de cuestionar la posibilidad de llevarse a cabo el proyecto. En esta fase se incluyó la formulación de hipótesis y el diseño de objetivos.

La etapa de ejecución consideró la recolección de información, así como el análisis y la interpretación bibliográfica, estadística y matemática tanto de gabinete como de la obtenida en investigación de campo. Posteriormente se procedió a la redacción del documento.

DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO

En el Capítulo I se establecen los antecedentes directos del tema del trabajo, de manera general se presenta un panorama de las características de un invernadero, las variedades de jitomate y de forma más detallada se señalan los sistemas de calefacción y ventilación para invernaderos.

En el Capítulo II se mencionan los diferentes tipos de controladores y sensores haciendo un balance y análisis de cada uno.

A partir del análisis realizado con respecto a los controladores de temperatura, en el Capítulo III se determinará el que se adecúe a las necesidades del proyecto utilizando tablas y matrices de evaluación que nos permitirán la toma de decisiones.

Una vez identificado el controlador ideal para el proyecto, en el Capítulo IV se realizará una simulación del funcionamiento de éste, y su comportamiento dentro del invernadero.

En el Capítulo V se plantea la construcción del prototipo donde se realizarán observaciones de su funcionamiento y de igual manera hacer arreglos en caso de requerirlos.

Finalmente, en el Capítulo VI se presentarán los resultados obtenidos al implementar el prototipo del controlador en un prototipo de invernadero, se anexan fotos e ilustraciones para ayudar al lector a visualizar lo antes mencionado.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

INVERNADEROS

La agricultura es considerada el descubrimiento que cambió el estilo de vida de los grupos humanos existentes y el inicio de las primeras civilizaciones, ya sin la necesidad de trasladarse de un lado a otro para conseguir sus alimentos, los ahora agricultores tomaron posesión de la tierra, considerándola propiedad de ellos y de su grupo. Para protegerla, formaron aldeas y pequeñas ciudades, las cuales rodearon de muros defensivos. Cada tribu y pueblo desarrolló su propia lengua, tradiciones, costumbres, religión, arte y forma de vida, es decir, crearon una cultura.

A medida que prosperó la civilización, se fue incrementando la diversidad de plantas con otros cultivos, no sólo alimenticios, sino también aquellos que le proporcionaban fibras, medicinas, ocasión de recreo y ornato, esto es, cultivos útiles para su bienestar.

Fueron, sin embargo, las plantas de ornato las que impulsaron el desarrollo de nuevas técnicas de cultivo y protección de plantas, es nombrado en muchos textos históricos la belleza de los jardines colgantes de Babilonia, en donde se utilizaron macetas de piedra para cultivar las plantas, pero fueron los romanos y griegos los primeros que utilizaron macetas para proteger las plantas exóticas en el interior de sus casas y palacios.

El jardín botánico más viejo de Europa, en Padua (Italia), sufrió modificaciones en su estructura alrededor del año de 1550 para introducir algunas partes de cristal y poder adaptar así las plantas más delicadas, aunque no sería hasta el siglo XVII que se utilizaría ese material como técnica común para el cultivo de invernadero. Este invernadero se utilizaba sólo para el cultivo de plantas medicinales. Los primeros techos de cristal que dejaban pasar la luz del día aparecieron en Inglaterra en 1717 y se fueron transformando poco a poco para convertirse en los invernaderos victorianos, tan exuberantes y hasta extravagantes.

Fue en 1948 cuando, gracias a la introducción del polietileno, se pudo contar con un producto más económico que el vidrio, con el cual cubrir los invernaderos. De esta forma, los invernaderos se popularizaron.

A partir de la década de 1960, los invernaderos comenzaron a ser instrumentados, aparecieron termostatos para el control de calor. Después se pusieron en funcionamiento componentes electrónicos analógicos, para llegar al uso de microcomputadoras para el control del nivel de radiación, la temperatura, la humedad y la concentración de bióxido de carbono, principalmente, aunque también se puede tener control sobre el agua de riego y sus nutrientes.

Los invernaderos son construcciones o estructuras edificadas principalmente, por medio de cristales. Los cuales permiten un mayor ingreso de los rayos solares, los que a su vez, permanecen en mayor grado, al interior del invernadero, gracias a los mismos vidrios.

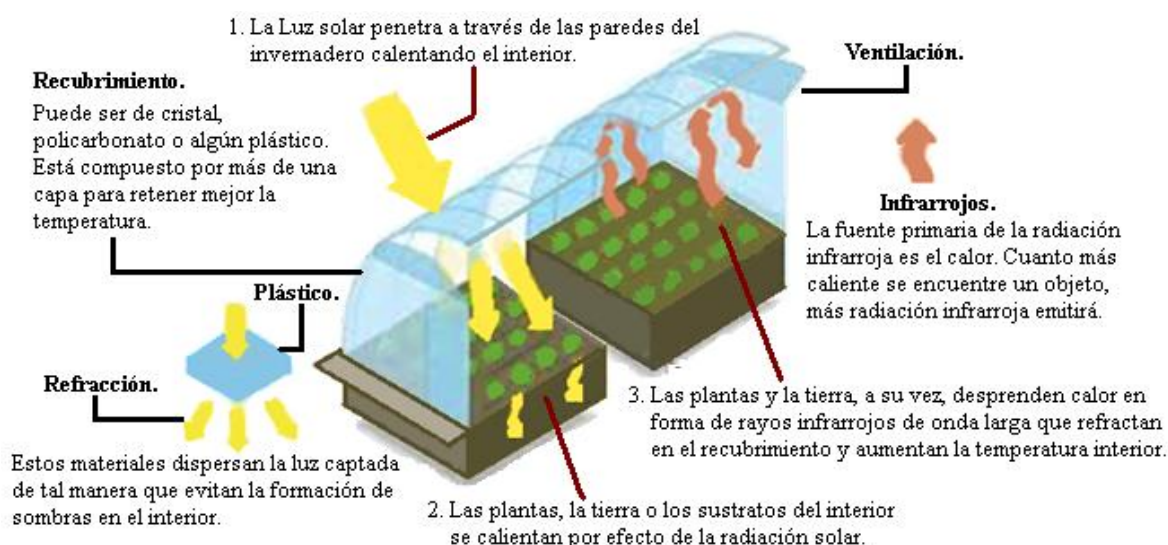


Fig. 2.1 Descripción general de un invernadero.¹⁰

En la figura anterior se observa un corte transversal de la configuración de un invernadero que muestra las condiciones óptimas requeridas para cualquier tipo de cultivo. Es importante considerar que el plástico que lo cubre le va a permitir recibir los rayos solares y distribuir ese calor para que las plantas dentro del invernadero mantengan una temperatura uniforme.

Si el invernadero recibe calor, es necesario considerar la ventilación, ya que la temperatura aumentará considerablemente si no se mantiene un equilibrio entre el calor que ingresa y el

¹⁰<http://guarico.com.ve/index.php?wpcf7=json&wpcf7=json&paged=5>

que debe salir para que circule el aire dentro de esta estructura. Como muestra la figura 2.1, las flechas amarillas se refieren a la luz solar que penetra las paredes plásticas, transformándose dentro del invernadero en rayos infrarrojos, éstos a su vez refractan dentro del invernadero aumentando y produciendo un calor necesario para las plantas.

Es importante controlar la temperatura y ventilación del invernadero para que el cultivo que se produzca dentro del mismo se desarrolle en un ambiente óptimo sin importar las condiciones ambientales del exterior.

En la actualidad los avances tecnológicos y científicos permiten desarrollar invernaderos que no son simples protectores de plantas, sino que pueden considerarse como reales fábricas de plantas u hortalizas.

Cabe señalar que el costo de construcción y mantenimiento de un invernadero moderno de alta tecnología hace muy superior el costo de cultivar en ambientes protegidos que cultivar a cielo abierto, por este motivo se requiere garantizar que las cosechas obtenidas en ambientes protegidos sean lo mas redituables posible.

La producción de cultivos en invernadero es una de las técnicas más modernas que se utilizan actualmente en la producción agrícola. La ventaja del sistema de invernadero sobre el método tradicional a cielo abierto, es que bajo invernadero se establece una barrera entre el medio ambiente externo y el cultivo. Esta barrera genera un “microclima”¹¹ que protege el cultivo del viento, lluvia, plagas, enfermedades, hierbas y animales. Igualmente, esta protección permite al agricultor controlar la temperatura, la cantidad de luz y aplicar efectivamente control químico y biológico para proteger el cultivo.¹²

Como se describe en el párrafo anterior, la producción agrícola en invernadero tiene ventajas y desventajas de uso, la descripción de las ventajas se puede observar en la figura 2.2:

¹¹ Microclima: conjunto de condiciones atmosféricas y climáticas uniformes en un espacio reducido. En: <http://www.wordreference.com/definicion/microclima>

¹² <http://www.uaq.mx/ingenieria/especialidad/>



Fig. 2.2 Ventajas de un invernadero.

En la figura 2.2 se mencionan las ventajas más significativas del cultivo en invernadero, las cuáles se muestran a continuación:

a) **Producción constante todo el año:** donde se usa la sincronización de invernaderos logrando con esto tener una producción constante y una cosecha permanente durante todo el año y así no tener temporadas de escasez (bajas) o de alta producción que generen pérdida de producto por excedente que no hubo forma de cosechar. Dicha rotación se logra haciendo mediciones del crecimiento de la planta y del fruto.¹³

b) **Aumento de la calidad y del rendimiento:** Una hortaliza producida en invernadero debe simbolizar la aplicación de tecnología adecuada para que ésta signifique a los productores la recuperación de la inversión, un alto rendimiento, resistencia a enfermedades y de excelente presentación. Por otra parte, el consumidor identificará un buen producto por

¹³ DIAZ, Rafael, (2004), *Probar que se puede maximizar la utilización del invernadero en la siembra de jitomate, tomando para estudio el invernadero "Back to Basics" ubicado en la ciudad de Tehuacán*, Tesis, Universidad de las Américas, Puebla, México.

su sabor, presentación, alto valor nutritivo, conveniencia de tamaño y diversidad de empaque.

c) **Se obtienen más ciclos productivos:** El uso de invernadero provee la facilidad de producir en diferentes épocas del año sin importar las condiciones climáticas del ambiente exterior. Esto hace del cultivo de hortalizas en invernadero un negocio altamente rentable con una gran ventaja respecto al producido a cielo abierto.

d) **Independencia climática:** se puede tener un invernadero en cualquier lugar del mundo, sea: cálido, frío, templado, húmedo o seco. Lo anterior garantiza un producto de calidad, resistente a las plagas, se ocupa menos mano de obra en la producción, además de que el trabajo se hace más cómodo, placentero y seguro, evitando la pérdida de jornales por condiciones climáticas adversas o ausencias por enfermedad de algún trabajador.

e) **Soluciones alimentarias:** La implementación de cultivos en invernadero posibilita que la producción sea segura ya que existe un control del desarrollo de las plantas, esto conlleva que una localidad tenga los suficientes recursos alimentarios para consumo interno y/o para exportación.

f) **Mayor densidad de siembra:** Al tener un espacio protegido se logra que un alto porcentaje de semillas tenga las condiciones ideales para crecer hasta la etapa de cosecha. En un mismo invernadero se pueden tener secciones de plantíos en diferentes etapas de crecimiento para obtener cosechas hasta en tres o cuatro épocas del año, dependiendo del producto que se siembre.

g) **Ahorro de agua y fertilizantes:** El cultivo en invernadero favorece un uso responsable del agua de riego, el sistema de aspersión se utiliza para humedecer la atmósfera, así el suelo permanece mojado, permite la evaporación y humidificación del aire. Con respecto a los fertilizantes, éstos se utilizan de forma controlada, principalmente el potasio para que la planta se fortalezca y enraíce, el fósforo para favorecer la polinización y el calcio para obtener frutos grandes. Tanto el empleo de agua como los fertilizantes se aplican en ambientes controlados por lo que existe poco desperdicio.

Dentro de un invernadero existen elementos que pueden ser controlados mediante mecanismos de automatización, de tal forma que se logren alcanzar las condiciones indispensables para que las ventajas señaladas anteriormente se cumplan. En la figura 2.3 se presentan los cuatro elementos que pueden manipularse dentro de un invernadero:

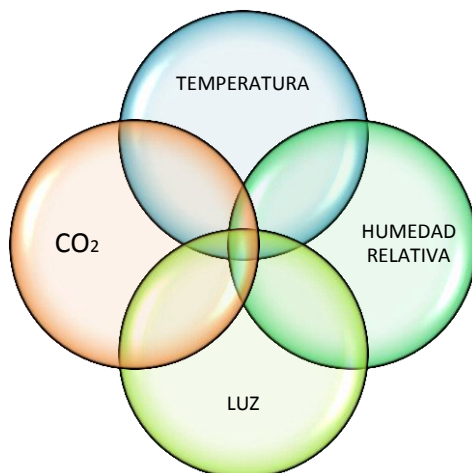


Fig. 2.3 Elementos controlables en un invernadero.

El desarrollo de los cultivos, en sus diferentes fases de crecimiento, dentro de un invernadero está condicionado por cuatro factores ambientales o climáticos: Temperatura, Humedad relativa, CO₂ y Luz. Estos elementos interactúan entre sí generando, en conjunto, las condiciones idóneas para el desarrollo eficiente de un cultivo.

En este trabajo nos avocaremos a desarrollar un control de temperatura, ya que este elemento es un factor determinante en la calidad del producto final. Un aumento o disminución de la temperatura más allá de los niveles requeridos por el cultivo en cuestión tendrán consecuencias graves en el desarrollo del mismo.

Para comprobar el correcto funcionamiento del control de temperatura es necesario considerar un tipo de cultivo, identificar sus características y las condiciones de temperatura que requiere para un correcto desarrollo. Al analizar las diferentes variedades de jitomate se optará por elegir una en particular con base en sus características como lo muestra el siguiente apartado.

TIPOS DE JITOMATES Y SUS CARACTERÍSTICAS

Existe una clasificación extensa de jitomates rojos, desde su forma, color, propiedades, nivel nutricional, tiempo de vida (tanto antes como después de cosecharse), etc. Sin embargo la más usual es aquella que se refiere a las características físicas de esta hortaliza.

A continuación se muestra un cuadro donde se dan a conocer los diferentes tipos y clases de jitomates, especificando cualidades, ventajas de su uso y consumo, tipo de cultivo, días de maduración, etc.

Este cuadro se divide en cuatro grandes clases que son: Híbridos roma/saladette, híbridos cherry, polinización abierta e híbridos comerciales. Por supuesto estos no son todas las clases existentes pero si las de mayor demanda y consumo.

Con respecto al tipo híbridos roma/saladette destacan las variedades que se registran en la tabla 2.3 y de las cuales en México destaca la variedad Aztec por ser la de mayor consumo entre la población en sus diferentes presentaciones.

VARIEDAD	DÍAS DE MADURACIÓN	TIPO CULTIVO	PESO (g)	TIPO PLANTA	CARACTERÍSTICAS
HÍBRIDOS ROMA/SALADETTE					
Aztec	72	Estaca, piso	74 - 85	Mediana, grande	Productiva, resistencia múltiple a enfermedades. Desarrollada para el mercado que demanda. Frutos firmes y buenos rendimientos.
Firenze	70-72	Estaca, piso	85-113	Grande, determinada	Forma y tamaño uniformes, para el mercado de Roma
Hybrid 882	75	Estaca, piso	85	Mediana, grande	Estándar del mercado fresco de Roma en USA
KadaHybrid	75	Estaca	85	Alta	Excelente calidad para embarque
Maya	68	Estaca, piso	74-85	Mediana, grande	Temprano, cosecha muy concentrada
Puebla	72	Estaca, piso	74-85	Mediana, grande	Tipo Hybrid 882, con mayor uniformidad
Yaqui	75	Estaca, piso	85-105	Mediana, grande	Gran tamaño y muy productiva

Tabla 2.3 Clases de Jitomates.¹⁴

Una vez revisadas las características de cada una de las variedades de jitomate rojo de la clase híbridos roma/saladette, se optó por implementar dentro del invernadero la variedad Aztec, ya que cuenta con periodos cortos de crecimiento y con suficiente resistencia a diversas plagas que puedan matar a la planta o al fruto, además de ser la de mayor consumo por su capacidad de ser procesado en la industria o consumo al natural.

¹⁴ <http://www.faxsa.com.mx/semhort1/c60tf001.htm>



Fig. 2.4 Variedad “Aztec” de jitomate.¹⁵

TEMPERATURA EN INVERNADEROS

Este es el parámetro más importante a tener en cuenta en el manejo del ambiente dentro de un invernadero. Normalmente la temperatura óptima para las plantas se encuentra entre los 10° y 20° C.

Para el manejo de la temperatura es importante conocer las necesidades y limitaciones de la especie cultivada. Así mismo se deben esclarecer los siguientes conceptos de temperaturas, que indican los valores a considerar para el buen funcionamiento del cultivo y sus limitaciones:

- Temperatura mínima letal. Aquella por debajo de la cual se producen daños en la planta.
- Temperaturas máximas y mínimas biológicas. Indican valores, por encima o por debajo respectivamente del cual, no es posible que la planta alcance una determinada fase vegetativa, como floración, fructificación, etc.
- Temperaturas nocturnas y diurnas. Indican los valores aconsejados para un correcto desarrollo de la planta.

En lo que se refiere a la variedad Aztec, las condiciones de temperatura que requiere son las siguientes:

¹⁵ <http://www.faxsa.com.mx/index.htm>

TEMPERATURA	JITOMATE [°C]
Temperatura mínima letal	5 – 7
Temperatura mínima biológica	18 – 20
Temperatura óptima	20 – 25
Temperatura máxima biológica	29 – 35
Temperatura máxima letal	41 – 46

Tabla 2.4 Espectro de temperatura requerida para la variedad Aztec.¹⁶

En la tabla anterior se observa que la temperatura ideal para que la planta se desarrolle y obtener un fruto de calidad debe oscilar entre los 20°C a 25°C. Si ese rango se rebasa y disminuye la planta tendrá problemas de desarrollo, desde poca producción hasta frutos agrietados, de poco crecimiento o frágil para acarrear enfermedades o plagas.

Para medir la temperatura se puede emplear alguno de los termómetros que a continuación se ilustran:



Fig. 2.5 Tipos de termómetros utilizados en invernaderos.

Estos termómetros termoeléctricos únicamente se concretan a obtener medidas de temperatura a distancia y de áreas determinadas. Estos dispositivos son de gran ayuda para obtener medidas en lugares de difícil acceso o donde la toma de temperatura se complica.

¹⁶<http://www.faxsa.com.mx/semhort1/c60tf001.htm>

Cuando se emplean en un invernadero, su uso se concreta a medir la temperatura ambiente del lugar, sin embargo cuando se obtienen lecturas fuera del parámetro ideal, son incapaces de corregir y regular el rango requerido, por lo que se deben tomar medidas necesarias para nivelar la temperatura.

CLIMATIZACIÓN DE INVERNADEROS DURANTE PERÍODOS FRÍOS

Como se describió en párrafos anteriores, la temperatura dentro de un invernadero puede ser medible mediante diversos aparatos, sin embargo, cuando el rango de calor se desestabiliza se requiere adoptar algunas medidas que permitan regular el ambiente propicio dentro del invernadero para que el cultivo en cuestión no sufra daños que, en muchas ocasiones, pueden ser irreversibles.

La climatización de invernaderos es el factor primordial para el éxito del proyecto de cultivo, manteniendo el control de la temperatura. El tipo de medidas que se deben aplicar para climatizar un invernadero son diferentes tanto para períodos fríos como cálidos. A continuación se describirán las condiciones aplicables para cada período:

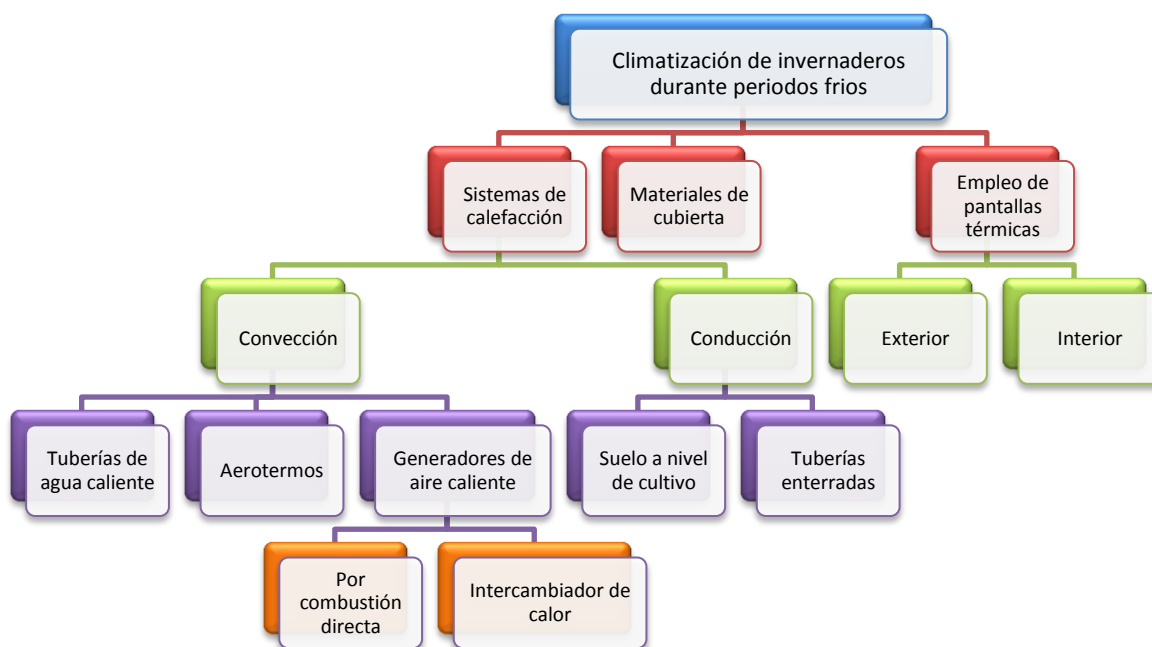


Fig. 2.6 Climatización de invernaderos en periodos fríos.

Para climatizar un invernadero en períodos fríos existen distintos sistemas para regular la temperatura en su interior, como son:

SISTEMAS DE CALEFACCIÓN

El calor que se genera mediante un sistema de calefacción en un invernadero puede ser de dos tipos: por convección o por conducción. Como se describe en el esquema, cuando se trata de calor por convección, éste puede ser producido a partir de tres métodos que son:

- **Tuberías de agua caliente:** Consisten en una red distribuida de forma estratégica en el invernadero de modo que el cultivo reciba el calor adecuado para cada una de las etapas de desarrollo de las plantas. Para producir el calor se utiliza un foco calorífico que puede ser una caldera, bomba de calor, etc. Estas tuberías se pueden localizar en el suelo a nivel de cultivo.



Fig. 2.7 Invernadero con cultivo de jitomate donde se muestran las tuberías de calefacción a nivel de suelo.¹⁷

- **Aerotermos:** Estos aparatos están diseñados para aumentar la temperatura dentro del invernadero. Emplean agua caliente o sobrecalentada, calientan el aire del exterior y lo impulsan hacia los cultivos mediante un ventilador. La instalación de un aerotermo dentro del invernadero permite un fácil y económico control de la temperatura, es por ello que es un sistema de calefacción muy utilizado. Su instalación es sencilla y puede colocarse suspendido con unos soportes en la parte superior.

¹⁷ <http://www2.larural.es/agrdatos/Ensayos02/Ensayos/Ensy06.htm>



Fig. 2.8 Aerotermo de agua caliente.¹⁸

- **Generadores de aire caliente:** Consiste en conducir aire a través de focos caloríficos para impulsarlo hacia el ambiente interior del invernadero y de este modo elevar la temperatura. Existen dos métodos diseñados para producir ese aire caliente y son:
 - Generadores de combustión directa. Es un sistema de calefacción mediante el cual se distribuye aire caliente proveniente del exterior del invernadero. Este aire pasa a través de una cámara de combustión para alcanzar una temperatura alta y mediante un ventilador es inyectado (sumado con otras sustancias derivadas de la combustión en pequeñas proporciones) dentro del invernadero.
 - Generadores con intercambiador de calor. Estos generadores son dispositivos que distribuyen aire caliente hacia el interior del invernadero mediante una cámara de intercambio donde no interviene la combustión, se transfiere el calor entre dos medios que se encuentran en contacto o bien que están separados por una barrera.

Un generador de aire caliente pueden situarse dentro o fuera del invernadero. Cuando está dentro, el aire que se utiliza es el mismo que ya ha sido calentado, es decir, hay una recirculación interna. Por ello el incremento de temperatura es más rápido.

Cuando el generador se encuentra fuera del invernadero, toma aire del exterior, es calentado y es forzado a mezclarse con el aire existente en el invernadero por medio de un ventilador, esto quiere decir que no hay recirculación interna, lo que sucede es que se inyecta aire caliente y se extrae aire frío mediante extractores.

Los sistemas de calefacción por aire caliente tienen la ventaja de su menor inversión económica y mayor versatilidad al poder usarse como sistema de ventilación, con el consiguiente beneficio para el control de enfermedades de las plantas.

¹⁸ <http://www.richel.fr/calefaccion-cooling>



Fig. 2.9 Generador de aire caliente en un invernadero.¹⁹

Los sistemas de distribución de calor por conducción consisten en transferir calor de un objeto a otro mediante contacto entre ellos. En el caso de un invernadero, un ejemplo de esta transferencia de calor consiste en utilizar tuberías de agua caliente. Estos sistemas, de acuerdo a su ubicación pueden ser:

- En suelo a nivel de cultivo: Tuberías que recorren el invernadero a ras del suelo para facilitar la conducción del calor.
- Tuberías enterradas: que calientan el suelo y, por conducción el aire, pero que no se ven a simple vista.

MATERIALES DE CUBIERTA

La importancia del material de cubierta estriba en que constituye un agente modificador del clima en la zona de construcción del invernadero. Existen distintos materiales utilizados como cubierta: vidrio, plásticos flexibles, plásticos rígidos.

La elección de un material de cubierta está determinada por su costo, después de haber considerado el grado de protección térmico, de la vida útil y del tipo de cultivo. El polietileno es el más utilizado por económico, aunque tiene problemas de envejecimiento debido al tiempo de exposición, horas de insolación, intensidad de radiación y temperatura.

Además del polietileno, también son muy utilizados el PP (polipropileno) y el PVC (policloruro de vinilo). Los tres son los termoplásticos más usados como materiales de cubierta.

¹⁹ <http://www.richel.fr/calefaccion-cooling>



Fig. 2.10 Existe una gran variedad de plásticos o cubiertas para invernadero por lo que el agricultor puede elegir el más apropiado para su cultivo.²⁰

EMPLEO DE PANTALLAS TÉRMICAS

Se puede definir una pantalla como un elemento que, extendido a modo de cubierta sobre los cultivos, tiene como principal función ser capaz de variar el balance que irradia tanto desde el punto de vista fotosintético como calorífico. El uso de pantallas térmicas consigue incrementos productivos de hasta un 30%, gracias a la capacidad de gestionar el calor recogido durante el día y esparcirlo y mantenerlo durante la noche, periodo en el que las temperaturas bajan sobremanera en los invernaderos. Las pantallas también son útiles como doble cubierta que impide el goteo directo de la condensación de agua sobre las plantas en épocas de excesiva humedad.



Fig. 2.11 Pantalla térmica aluminizada de ocultación que no permite ver el cultivo por parte de otras personas.²¹

²⁰ <http://invernaderos-agricolas.blogspot.com/2010/10/aplicacion-de-los-plasticos-antiplagas.html>

²¹ <http://hortitec.es/invernaderos/405-pantalla-termica-n-malla-de-ocultacion.html>



Fig. 2.12 Colocación de la pantalla térmica que favorece la conservación del calor y libera al cultivo de plagas.²²

Las pantallas térmicas se pueden emplear para distintos fines:

Protección exterior contra:

- El exceso de radiación con acción directa (UV) sobre las plantas, quemaduras.
- El exceso de temperatura.
- De forma secundaria protegen del viento, granizo, aves, plagas o insectos.

Protección interior:

- Protección térmica, ahorro energético.
- Contra el enfriamiento del aire a través de la cubierta.
- Secundariamente de la humedad ambiental y condensación.

Existen distintos tipos de pantallas, presentando la mayoría una base tejida con hilos sintéticos y láminas de aluminio. La composición, disposición y grosor de los hilos es variable, ofreciendo distintas características.

También existen pantallas en las que se tejen directamente las láminas del material reflectante entre sí o con otro tipo de lámina plástica (poliéster, polipropileno, etc.). Otro tipo es adaptando el sistema de las mallas de sombreo tradicionales, sustituyendo la llamada rafia de polipropileno o polietileno por aluminio.

²² http://www.rufepa.com/pantalla_termica.htm

CLIMATIZACIÓN DE INVERNADEROS EN PERÍODOS CÁLIDOS

La presencia de exceso de temperatura dentro de un invernadero perjudica al cultivo ya que afecta directamente las funciones de fotosíntesis, respiración, permeabilidad de la membrana celular, absorción de agua y nutrientes, transpiración, actividades enzimáticas.²³

Cuando se pretende climatizar un invernadero en períodos cálidos, o bien, en lugares con temperaturas elevadas, se puede optar por un sistema de refrigeración como los que se describen en el siguiente esquema:

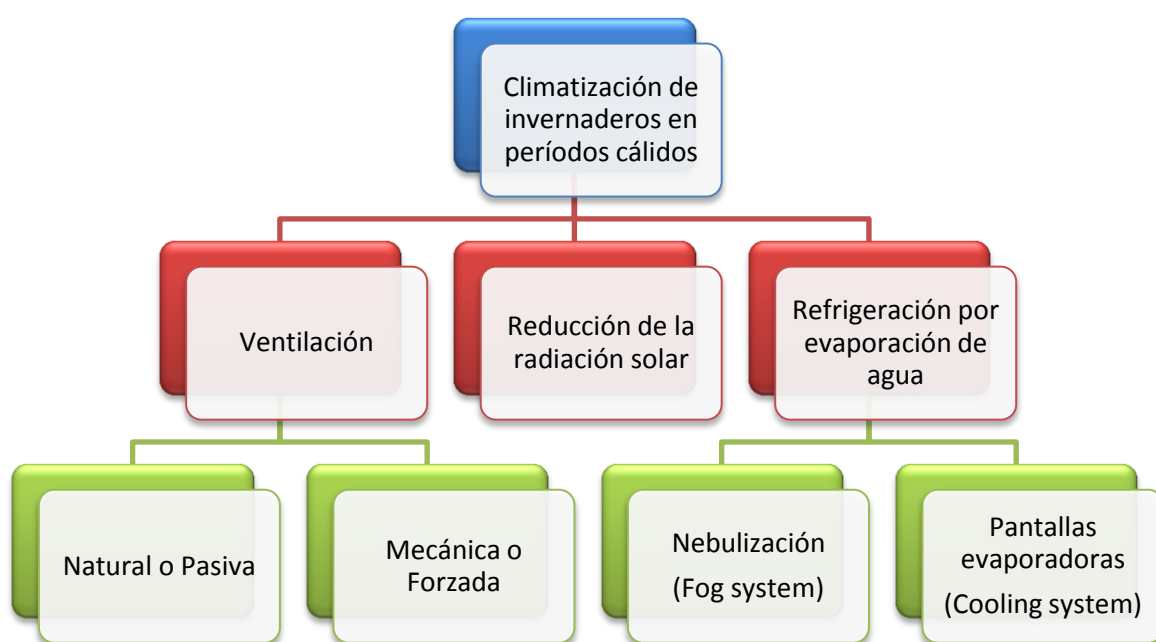


Fig. 2.13 Climatización de invernaderos en períodos cálidos.

En un ambiente cálido es de vital importancia reducir la temperatura a niveles adecuados para el buen desarrollo del cultivo durante todo su ciclo. Sin embargo, reducir la temperatura a la ideal no es una tarea sencilla, requiere de saber elegir el método que mejor se adecúe a las necesidades de la región, al costo y utilidad. Disminuir la temperatura en un invernadero significa, por lo general, invertir cantidades relativamente altas en instalaciones y equipo.

²³ <http://www.fao.org/DOCREP/005/S8630S/s8630s06.htm>

Por ello es importante considerar los cuatro factores que nos permiten reducir la temperatura y que son:

- Ventilación del invernadero.
- Reducción de la radiación solar que llega al cultivo (blanqueado, sombreado)
- Evapotranspiración del cultivo.
- Refrigeración por evaporación de agua (nebulización, pantallas evaporadoras)

Estos cuatro factores se encuentran relacionados entre sí, de manera que si uno de ellos cambia también cambian los demás. Por ejemplo, al sombrear un invernadero, se reduce la temperatura del aire, pero de igual manera también se reduce, en la mayoría de los casos, la tasa de transpiración. Un efecto se relaciona con el otro, y por ese motivo es necesario conocer y aplicar los métodos de refrigeración de un invernadero siempre considerando la relación existente entre ellos.

VENTILACIÓN

La ventilación consiste en la renovación del aire dentro del invernadero. Al renovar el aire se actúa sobre la temperatura, la humedad, el contenido en CO₂ y el oxígeno que hay en el interior del invernadero. La ventilación puede hacerse de una forma natural o forzada.

VENTILACIÓN NATURAL O PASIVA

Se basa en la disposición, en las paredes y en el techo del invernadero, de ventanas que permiten la aparición de corrientes de aire que contribuyen a disminuir las temperaturas elevadas del lugar.

Las ventanas en el techo del invernadero resulta ocho veces más efectiva que una ventana lateral en lo que a aireación se refiere. Se recomienda que las ventanas ocupen entre un 18% y 22% de la superficie del invernadero.

La apertura y cierre de las ventanas suele hacerse mecánicamente a través de un sistema de cremalleras, accionado eléctricamente por un termostato, aunque también puede hacerse manualmente.



Fig. 2.14 Ventilación pasiva en un invernadero donde se abren las ventanas superiores. ²⁴

VENTILACIÓN MECÁNICA O FORZADA

Los sistemas de ventilación forzada consisten en establecer una corriente de aire mediante ventiladores extractores, en la que se extrae aire caliente del invernadero, y el volumen extraído es ocupado inmediatamente por aire de la atmósfera exterior. Con este sistema solamente se puede conseguir una temperatura idéntica a la del exterior, pero su control es más preciso que el que se logra con la ventilación pasiva.



Fig. 2.15 Ventilación mediante el empleo de ventiladores en un invernadero. ²⁵

²⁴ http://edu.jccm.es/ies/aguasvivas/index.php?option=com_content&view=article&id=80&Itemid=105

²⁵ http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/ventilacion_cultivos_intensivos.htm

REDUCCIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR QUE LLEGA AL CULTIVO **(Blanqueado, sombreado)**

Para lograr reducir la radiación solar se requiere aumentar la superficie reflectiva haciendo más brillantes las estructuras construidas en el invernadero, por ejemplo pintándolas de blanco (blanqueado) y/o cubriéndolo con material reflectivo (sombreado). Estos métodos servirán de escudos deflectores o espejos para que llegue menor cantidad de radiación solar al cultivo.

Los sistemas de sombreado se pueden dividir en dos:

- *Sistemas estáticos.* Son los que, una vez instalados, sombrean al invernadero de forma constante, sin posibilidad de graduar o controlar la reducción de temperatura.
- *Sistemas dinámicos.* Son los que permiten tener un mejor control de la radiación solar en función de las necesidades climáticas del invernadero.



Fig. 2.16 Sombreado de invernadero para reducir la radiación solar.²⁶

REFRIGERACIÓN POR VAPOR DE AGUA **(Nebulizadores, sistemas de enfriamiento – cooling system)**

Existen métodos de evaporación que pueden ser creados mediante diversos mecanismos y que colaboran con la evapotranspiración natural de las plantas, principalmente cuando la región donde se encuentra el invernadero es en extremo cálida y seca. Los dos más eficaces son: nebulización y sistemas de enfriamiento, las cuales se describen a continuación:

²⁶ <http://invernaderos-agricolas.blogspot.com/2009/12/encalado-o-pantalla-de-sombreo-en.html>

NEBULIZACIÓN (*Fog system*)

Este sistema consiste en la colocación, a determinada altura, de boquillas nebulizadoras que dispersan agua al interior del invernadero en gotas de tamaño muy pequeño. Estas gotas de agua son tan diminutas que se evaporan antes de llegar al suelo o al cultivo.

Existen boquillas de alta y baja presión. Las ideales son de alta presión porque el tamaño de las gotas es muy pequeño, sin embargo, esta instalación requiere de tubería especial que soporte las altas presiones a las que debe estar sujeta de manera constante. Las boquillas de baja presión son más económicas, sin embargo, como producen gotas más grandes, en muchas ocasiones no alcanzan a evaporarse y llegan al cultivo, esto puede ocasionar problemas para el cultivo, principalmente la presencia de hongos en las hojas.

Un sistema de nebulización debe ir asociado a una buena ventilación para que se renueve el aire húmedo del interior sustituyéndolo con aire seco del exterior.



Fig. 2.17 Sistema de nebulización en un invernadero. ²⁷

SISTEMA DE ENFRIAMIENTO (*Cooling system*)

Es un sistema formado por paneles o pantallas de fibra o celulosa que se colocan en uno de los lados del invernadero (se sugiere que sea al norte) aunado con una serie de ventiladores que extraen el aire del invernadero y que se colocan al lado opuesto de las pantallas.

El aire seco del exterior pasa a través de las pantallas previamente humedecidas con un sistema de riego, succionado por los ventiladores del lado opuesto. Este aire húmedo, por el calor interior se evapora y reduce la temperatura del invernadero ya que el aire fresco y húmedo recorre todo el invernadero hasta el lado opuesto en que es succionado por los ventiladores hacia el exterior. Así se cierra el ciclo de refrigeración del invernadero.

²⁷ <http://www.agroterra.com/p/sistemas-nebulizacion-de-agua-para-invernadero-desde-madrid-14975/14975>

Se sugiere que la distancia entre las pantallas o paneles y los ventiladores no sea mayor de 25 m para que los resultados sean óptimos.



Fig. 2.18 Pantalla evaporadora colocada en un invernadero.²⁸

²⁸ <http://www.frada-invernaderos.com/5fradacool.html>

CAPÍTULO II. DESARROLLO DEL CONTROLADOR

CLASIFICACIÓN DE CONTROLADORES DE TEMPERATURA EN INVERNADEROS

Un controlador es un equipo cuya función principal consiste en mantener la variable física en torno a un valor establecido denominado valor de referencia. Recibe la señal procedente del sensor o transductor, la compara con el valor de referencia y envía una señal al actuador que es función de la diferencia entre los valores de medida y el de referencia y de los criterios de control establecidos. Habitualmente los controladores incorporan un visualizador en el que se muestran, en todo momento, los valores de la variable medida y de la consigna.

¿Por qué es importante tener un control de temperatura dentro de un invernadero? Por la simple razón de que, si ya se tienen los sistemas que proporcionan la regulación deseada en la temperatura dentro de un invernadero, es todavía mejor si son controladas sin la necesidad de tener personal las 24 hrs del día encendiendo o apagando los dispositivos.

Dicha operación es realizada automáticamente por un controlador, al recibir datos de los sensores y equilibrarla con una temperatura ideal a la cual es necesario mantener el interior del invernadero.

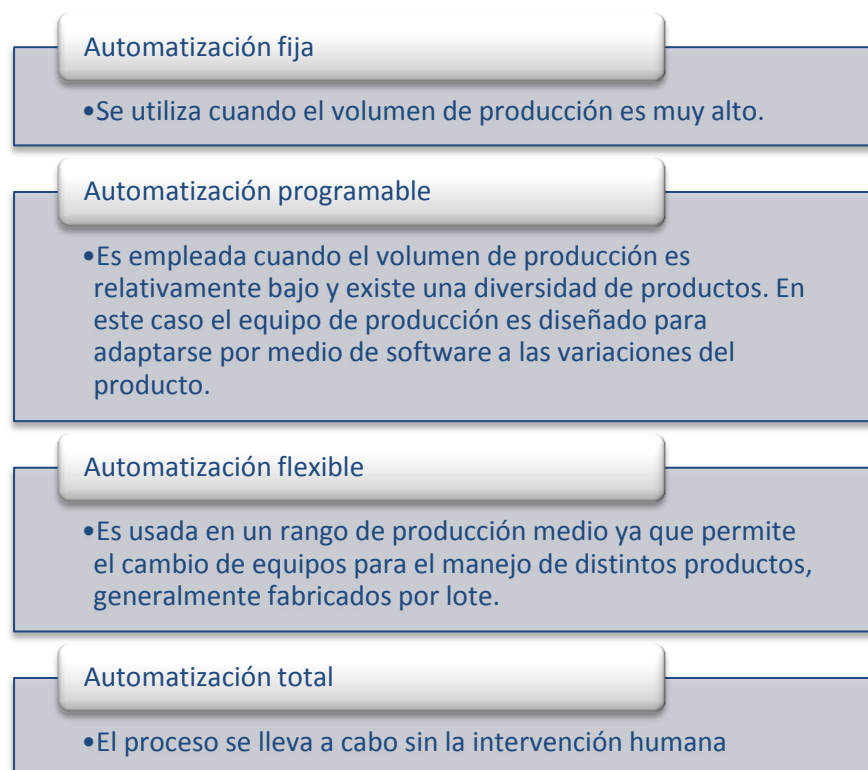
En la actualidad son numerosos los sistemas de automatización que existen en el mercado para controlar los parámetros climáticos de los invernaderos. Un sistema automático está constituido por máquinas que son capaces de efectuar actividades con el mínimo de supervisión humana.

Estos sistemas se basan en el empleo de un ordenador central al que se conectan un conjunto de sensores, que recogen las variaciones de los distintos parámetros respecto a unos valores programados inicialmente.

Se trata de una pequeña estación meteorológica que registra valores de temperatura exterior e interior, humedad relativa, velocidad del viento, iluminación, etc.

Estos sistemas, a su vez, pueden estar conectados a los sistemas de riego y de regulación climática. Los sensores se distribuyen en diferentes sectores, pudiendo funcionar cada uno de forma autónoma, pero de manera conjunta tienen un mejor resultado al abarcar un área más grande. En el controlador central se recoge la información captada por los sensores, se coordinan las actuaciones, y se envían las órdenes a los distintos sectores.

Dependiendo del grado y complejidad de automatización, existen diferentes niveles y categorías que se describen a continuación:



Aplicando esta tipificación a la automatización de un invernadero es de mayor utilidad y eficacia la implementación de un sistema de automatización programable, principalmente, por los diversos cambios en las características de los productos (color, tamaño, forma, especie, etc.) y por las variaciones en las condiciones climáticas que influyen directamente en la producción.

Por otra parte, existen muchas situaciones donde la automatización es una solución a los problemas administrativos y productivos. Sin embargo, cada proceso es distinto y su automatización demanda distintos retos técnicos y económicos.

Particularmente, en los sistemas de producción de cultivos automatizados los diseñadores se enfrentan a los siguientes problemas:

- Un ambiente de trabajo menos estructurado comparado con otro tipo de industrias.
- Los cambios dinámicos en los que cambia la forma y tamaño de los objetos producidos (plantas).
- La escasez de dispositivos de medición confiables que midan el crecimiento de la planta.
- La diversidad de prácticas de administración de los agricultores.
- El bajo grado de complejidad deseado por los usuarios en la operación y mantenimiento del sistema.
- La alta dificultad de justificar una mayor inversión de capital.
- El pequeño margen de error permitido debido a la fragilidad del producto (frutos)²⁹

Debido a estas dificultades se ha preferido enfocar la automatización en los sistemas de producción de cultivos en el diseño de sistemas de producción de plantas en ambientes controlados; trabajando principalmente con la automatización de los parámetros climáticos.

Finalmente, en la tabla se resumen las variables para el control de la temperatura que comúnmente se automatizan en el invernadero, se muestran las unidades de medición, las divisiones que se hacen en las mediciones, los instrumentos de medición y actuadores que típicamente son usados.

²⁹ Murase, H. "Computer Applications and Phytotechnology in Horticulture". XXV International Horticultural Congress. Bruselas, Bélgica. Acta Horticulturae, 519, 2000. p.19-48

VARIABLE	UNIDADES DE MEDICIÓN	DIVISIONES	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	ACTUADORES
Radiación	Watt	Radiación total, Radiación neta	Piranómetro, piraliómetro, medidor de cuantos	Malla sombra, irradiador suplementario
Temperatura	Celsius, Fahrenheit	Externa, interna, del cultivo, del suelo. Temperatura de los sistemas de calefacción.	Resistencia, termistor, termopar, termómetro de fluidos, infrarrojo, etc.	Boiler, unidad de calor, ventilador, pantalla húmeda, sistema mezclador de aire, extractor, válvula.
Viento	m/s , km/h	Externa y dirección	Calzonetas, ultrasónico, filamento caliente, Dopler, etc.	Sistema de ventilación
Precipitación	Presencia o ausencia, medidor de lluvia	Externa	Resistivo, óptico o mecánico.	Sistema de ventilación, sistema de calefacción en caso de nieve.
Agua	m ³ /m ²	Consumo de planta	Tensiómetro, medidor de conductividad térmica, psicómetro.	Sistema de riego, bomba, válvula.

Tabla 3.1 Factores climáticos considerados (que afectan directamente a la temperatura) para la automatización de un invernadero, unidades, divisiones, instrumentos de medición y actuadores.³⁰

SENSORES DE TEMPERATURA

Al haber ya definido algunas de los métodos empleados en invernaderos, tanto en períodos fríos como cálidos, para cumplir con el objetivo de este proyecto, es indispensable identificar las principales características de los sensores utilizados hoy en día para la calibración de la temperatura.

Estos elementos a primera vista parecen de poca utilidad, pero la suma de ellos junto con controladores logran optimizar el invernadero de tal manera que llegue a ser autónomo y empleando al mínimo la presencia del ser humano.

Para controlar un parámetro es necesario, en primer lugar, medirlo correctamente. En aquellas instalaciones cuyo principal objetivo es el de controlar las características físicas del ambiente, la medición de la temperatura y la humedad constituye una de las etapas principales del sistema de control.³¹

³⁰ Hanan, Joe. "Greenhouses: Advanced Technology for Protected Horticulture". CRC Press., 1998, 684 p.

³¹ Gámiz Caro, Juan Ángel; "Control de sistemas de aire acondicionado"; CEAC.

Conocer las características eléctricas y mecánicas de los diferentes sensores que pueden emplearse ayudará, sin duda, en la difícil tarea de elección del más adecuado.

Para conseguir una correcta regulación de las principales variables físicas de un sistema de aire acondicionado será necesario conocer la naturaleza de los sensores que se utilizan, el método de enlace entre sensores y equipos indicadores o controladores, las características propias de estos equipos y los elementos de actuación que intervienen.

Aspectos tales como la arquitectura del sistema de control, la elección y ubicación correcta de los sensores, el manejo idóneo de actuadores empleados, etc.

Los sensores de temperatura son elementos que, generalmente, realizan la doble función de detección y transducción de la temperatura a la que se ven sometidos. En muchos casos convierten directamente el valor de temperatura al valor correspondiente de alguna magnitud eléctrica como tensión, resistencia, corriente, etc. En la tabla 3.2 se ejemplifican tipos de sensores y algunas de sus características, ordenados de acuerdo a la estimación que existe en el mercado.

Tipo de sensor	Rango nominal [°C]	Costo	Linealidad	Algunas características
Integrado Lineal (ejem. LM35) 	-50 a 150	Muy Bajo	Muy Alta	Fácil conexión a sistemas de toma de datos.
Diodos	-200 a 50	Bajo	Alta	Bajo costo
Termómetro de mercurio 	-10 a 300	Bajo	Buena	Simple, lento y de lectura manual
Termocupla o Termopar 	-150 a 1500	Medio	Alta	Requiere referencia de temperatura
Gas	-20 a 100	Medio	Buena	No muy versátil
Termistor 	-15 a 115	Medio	No lineal	Muy sensible
Termorresistencia (Pt, Ni, etc.) - Resistance Temperature Detectors - 	-150 a 600	Medio	Alta	Exactitud

Tabla 3.2 Comparación de sensores.³²

- Costo +

³² Interfacing sensors to the IBM PC, W. J. Topkins and J. G. Webster, Prentice Hall, N.J. (1988)

ANÁLISIS DEL CONTROLADOR

Durante muchos años se ha buscado la posibilidad de una alternativa de solución a la gran demanda de productos agrícolas de primera necesidad que se requieren en nuestro país. Por lo cual, diferentes investigadores se han dado a la tarea de encontrar una respuesta satisfactoria a dicha demanda.

Como consecuencia, una gran posibilidad se encuentra en el desarrollo de invernaderos donde se aplique tecnología. Es importante considerar que la inversión en tecnología debe tener un costo accesible y de rápida recuperación para que este proyecto sea rentable.

Por lo que considero que al desarrollar un proyecto de este tipo es casi seguro tener resultados positivos.

Después de haber realizado algunas visitas a invernaderos locales y dentro del área metropolitana, analizado información acerca de invernaderos y su impacto dentro de la sociedad y haber recopilado información en libros, se llegó a concluir que los principales requerimientos de un futuro cliente que quiera cultivar dentro de un invernadero son los siguientes:

- El producto debe desarrollarse con la mayor rapidez posible.
- El producto debe de ser de calidad.
- El producto debe de tener buena presentación.
- El producto debe de estar dentro de un costo de venta accesible y de igual manera tener ganancias en un periodo corto.
- El ciclo de producción sea constante, tener producción durante todo el año.

Para poder mantener estos requerimientos, es necesario tener presente el uso de algún controlador que cumpla con el siguiente esquema:

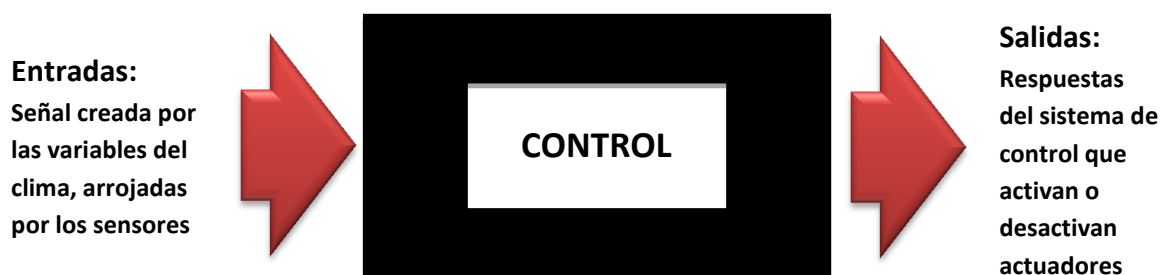


Fig. 3.1 Diagrama de caja negra.

Como podemos ver en el diagrama, el uso de un controlador es de suma importancia si queremos lograr un ambiente controlado en un espacio cerrado, de manera que éste sea alimentado con las señales de los sensores y tenga como respuesta señales donde activan o desactivan elementos que modificaran las variables a controlar.

Estas variables controladas darán como resultado un clima ideal para la planta; ésta a su vez, al tener los elementos necesarios para su desarrollo y en momento necesario, podrá generar productos de buena calidad, cumpliendo todos los requerimientos anteriormente mencionados.

Dado que este sistema de control es la piedra angular de nuestro problema considerado, se manejará como el elemento a analizar, comparándolo y analizando ventajas y desventajas.

De igual manera, así como se mencionó en un principio, solamente se hablará de la forma de controlar la temperatura, ya que es considerado un elemento primordial para el crecimiento de la planta.

REQUERIMIENTOS

Cuando se planea la aplicación de tecnología para un invernadero es necesario contar con los elementos requeridos para el buen desarrollo de cada una de las etapas en que se divide el seguimiento de un proyecto de invernadero.

Para los requerimientos del sistema de control de temperatura tenemos los siguientes:

- Tener una sonda o sensor de temperatura que alimente al controlador.
- Tener en todo momento un ambiente controlado donde se den las condiciones necesarias para el crecimiento de la planta.
- Los materiales y elementos a utilizar deben de permanecer independientes al clima controlado.
- La respuesta del sistema de control debe de ser de tal forma que la planta no incurra en climas extremos.
- El sistema de control debe poder adaptarse a cualquier temperatura requerida, de forma automática, si la necesidad de la intervención del usuario.

- Debe tener la capacidad de poder manipular (encender-apagar) actuadores que generen o retiren calor del ambiente.
- Debe ser fácilmente manejable por el usuario en el momento de ser adaptado a sus necesidades.
- Económico para ser utilizado en diferentes regiones sin que el costo de instalación sea motivo para no ser empleado. Es por esto que la inversión debe ser accesible.

ESPECIFICACIONES

Una vez que se cuenta con los requerimientos indispensables para el desarrollo del proyecto es de vital importancia considerar que existen especificaciones concretas que deberán cumplirse al pie de la letra ya que de eso depende el éxito del proyecto.

Para los requerimientos citados en el apartado anterior también existen especificaciones, tales como:

- Uso de sondas o sensores para poder regular temperatura, estos deberán arrojar su valor en Volts como entrada al controlador.
- Los elementos deberán trabajar a 127[V] de corriente alterna (AC) utilizando la menor cantidad de Watts posibles.
- Involucrar el menor número de procesos para tener un controlador funcional.
- Manejar la unidad de grados Centígrados.
- Mantener la temperatura dentro de un rango de 20 °C a 25 °C, pero ser capaz de arrojar valores entre 0 °C a 99°C.
- Ser factible de funcionar las 24 hrs del día sin recurrir a excesivo mantenimiento.
- Mantener una vida útil promedio de 2 años como tiempo aproximado para que sea redituable.

Lo anterior permite elaborar una tabla donde se asignan valores dentro de la escala 1 a 5; donde el 5 corresponde al o a los requerimientos que tienen mayor importancia o que necesitan de más atención y así sucesivamente hasta el valor 1 que indica aspectos irrelevantes para el objetivo de este proyecto.

Requerimiento	Jerarquización
Uso de sensor	5
Ambiente controlado en todo momento	4
Materiales y elementos fuera del clima controlado	2
Respuesta que no haga tener climas extremos	2
Control adaptable a cualquier temperatura	4
Manipular actuadores	5
Manejable para el usuario	3
Económico	5

Tabla 3.3 Requerimiento-Jerarquización.

Una vez jerarquizados los requerimientos, se prosiguió con la comparación de cada uno de ellos con su respectiva especificación posible, además de agregar una tercera columna donde se registró cuales debían considerarse como necesidades primarias y secundarias. Con esto se logra tener una visión más precisa de lo que se busca dentro de la aplicación de nuestro sistema de control.

Requerimientos	Tipo de Prioridad	Especificaciones
Uso de sensor.	Primaria	Capta alguna condición física para convertirla en una señal análoga.
Ambiente controlado en todo momento.	Primaria	Funcione las 24 hrs. del día.
Económico.	Primaria	
Materiales y elementos fuera del clima controlado.	Secundaria	Trabaja a 127 V (AC), y gastando pocos Watts.
Respuesta: que no haga tener climas extremos.		Pocos procesos, sencillo, funcional.
Control adaptable a cualquier temperatura.	Primaria	Capaz de arrojar valores entre 0 y 99 °C
Manipular actuadores.	Secundaria	
Manejable para el usuario.	Secundaria	Manejar la temperatura en °C

Tabla 3.4 Requerimientos vs Especificaciones.

ALTERNATIVAS DE CONTROLES EN INVERNADEROS (BENCHMARKING)

Como sabemos existen variables que afectan el crecimiento de la planta y el desarrollo de los frutos:

- Luz.
- Temperatura.
- CO₂.
- Humedad.
- Nutrientes y Agua.

Cada una de estas variables puede ser controlada dentro del invernadero por medio de controladores y actuadores. Ya que el entorno del invernadero debe de ser igual al entorno óptimo de la planta.

Los diferentes modelos de controladores climáticos que existen en el mercado tienen la capacidad de reconocer sensores como: de temperatura, radiación, humedad, CO₂, Ph, entre otros. La cantidad de elementos que puedan controlarse dentro de un invernadero influirá en la calidad del producto que se coseche.

Tanto en México como en otros países se comercializa una gran variedad de controladores climáticos que se enfocan a diversas aplicaciones que requiere un invernadero para obtener un producto de calidad. Sin embargo, también existen controladores exclusivamente diseñados para el manejo de la temperatura dentro de invernaderos.

Las marcas que se comercializan generalmente proceden de otros países pero su utilidad radica en que cubra las necesidades individuales de cada invernadero tomando en cuenta sus particulares características como son: dimensiones, clima en el exterior, ubicación, tipo de cultivo, entre otras.

Una condición más que se debe revisar al adquirir un controlador de temperatura son sus ventajas y desventajas.

Algunas de las empresas que construyen y/o desarrollan controladores de temperaturas son:

- Termosilic.
- Fan controller.
- Zhejiang.

A continuación se presentan tres ejemplos de controladores de temperatura existentes en el mercado mundial:



Fig. 3.2 Jerarquización en costo del Benchmarking o estudio de mercado.

CONTROLADOR DE TEMPERATURA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
 Termosilic controlador	- Comunicación a la PC. - Se pueden establecer rangos de temperatura deseadas.	- Comunicación vía RS232 - Pocas salidas hacia otros dispositivos. - La sonda tiene rango de 1 m. - No muestra décimas de temperatura (escasa exactitud del control) - Poco rango de medición (-35°C a 85°C) - Necesario usar una PC - Costo elevado.
 Fan controller	- Controla temperatura y humedad. - Óptimo rango de temperatura (-55°C a 125°C) - Sonda con un rango de 4 m.	- Trabaja a 230V - Rango de precisión muy abierto (0.5°C) - Costo excesivamente elevado.
 Zhejiang SG-642	- Escalas de temperatura ajustables. - Pequeño volumen (125 cm³) - Costo bajo, accesible de obtener.	- Amplio rango de error de temperatura (+/- 2°C) - Salidas de 12VDC - Rango de temperatura de -10°C a 55°C

Tabla 3.5 Benchmarking.

TIPOS DE CONTROLADORES

Un sistema de control puede ser definido como cualquier sistema mecánico, óptico, químico, electrónico o una combinación de ellos. Es utilizado para mantener una salida deseada.

Los componentes básicos de un sistema de control son tres:

- Objetivos de control.
- Componentes de control.
- Resultados de las salidas.

A lo largo de la historia, se han utilizado técnicas de control de la teoría clásica (control proporcional, derivativo, on/off, etc.) y de la teoría moderna (lógica difusa, redes neuronales, control estocástico, etc.) para controlar las variables consideradas.

Sin embargo solo se presentarán los tres tipos básicos de controladores de la teoría clásica: el controlador on/off, el controlador proporcional y el PID. Pero se deja abierta la posibilidad de aplicar cualquier otra técnica que pueda ofrecer mejores resultados en el control de las variables climáticas.

ON/OFF

El controlador ON/OFF es el sistema más simple que se puede usar para crear un control ya que no existen estados intermedios en la salida del mismo. El controlador accionará o apagará su salida cuando el valor leído cruce algún punto de referencia.

Cuando el valor de la variable cruza ese punto para cambiar el estado de la salida, el proceso va a ciclarse, yendo continuamente de un valor por debajo del mismo a un valor por arriba. Si esto ocurre los equipos de operación que se estén ocupando (contactos, válvulas o demás equipos eléctricos y mecánicos) se prenden y apagan frecuentemente en periodos de tiempo cortos lo que puede dañarlos.

De tal forma, el control ON/OFF es usado generalmente cuando no se requiere un control preciso, en sistemas en los que se puede prender y apagar la energía frecuentemente, o donde la masa del sistema es tan grande que las variables cambian muy lentamente o para una alarma.

PROPORCIONAL

Cualquiera que sea el mecanismo real y la forma de la potencia de operación, el controlador proporcional es, en esencia, un amplificador con una ganancia ajustable. El controlador proporcional es el tipo más simple de controlador, con excepción del controlador de dos estados. En lugar de tener una acción constante que sólo depende del signo del error, podemos hacer que la magnitud del control dependa del tamaño del error. En otras palabras la ley de control debe ser de la siguiente forma:

$$V = KE + M$$

$$E = PV - SP \text{ (error)}$$

- K es una constante de proporcionalidad
- M es una posición donde $E = 0$

Los controladores que son únicamente proporcionales tienen la ventaja de que solo cuentan con un parámetro de ajuste, sin embargo, adolecen de una gran desventaja, operan con una desviación, o “error de estado estacionario” en la variable que se controla. El controlador lleva de nuevo a la variable a un valor estacionario pero este valor no es el punto de control requerido; la diferencia entre el punto de control y el valor de estado estacionario de la variable que se controla es la desviación.

PID

El controlador proporcional integral derivativo (PID) combina el control proporcional con dos tipos de ajustes (integral y derivativo) que ayudan al sistema a compensar automáticamente los cambios. Estos ajustes son expresados en unidades de tiempo.

Este tipo de control muestra mayores ventajas en sistemas que tienen poca masa; aquellos que reaccionan rápidamente a cambios en la energía proporcionada al proceso. Son recomendables para sistemas en donde las cargas cambian frecuentemente y donde se espera que el controlador compense automáticamente estos cambios.

Existen algunas características que deben de considerarse para seleccionar un controlador, como la auto-sintonización, donde el sistema calcula la banda proporcional, la razón de cambio y el restablecimiento (PID auto-ajustable) para obtener un control preciso; la comunicación con la que la unidad puede enviar y recibir información para el almacenamiento de la misma.^{33, 34}

³³ KONING, Ad, Models and Sensors in Greenhouse Control. II IS on Hortimodel Wageningen Holanda Acta Horticulturae, 2006, p. 175-179

³⁴ OMEGA Temperature measurement Handbook & Encyclopedia. Vol. 28 Omega Engineering, Inc. EU 1992, p. Z5-Z32

CAPÍTULO III. EVALUACIÓN

ELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN PARA LA APLICACIÓN EN LOS INVERNADEROS

Retomando lo que se menciona anteriormente, el modelo de la caja negra indica la entrada que, en este caso, se refiere a la respuesta de los sensores y la salida que modifica el encendido o apagado de los actuadores. Enseguida se presenta el mapa funcional que muestra todos los sistemas involucrados y que nos conduce a conocer el comportamiento de nuestra caja negra.

Entradas:

- Respuesta a las variables del clima arrojadas por los sensores
- Energía
- Valores máximos y

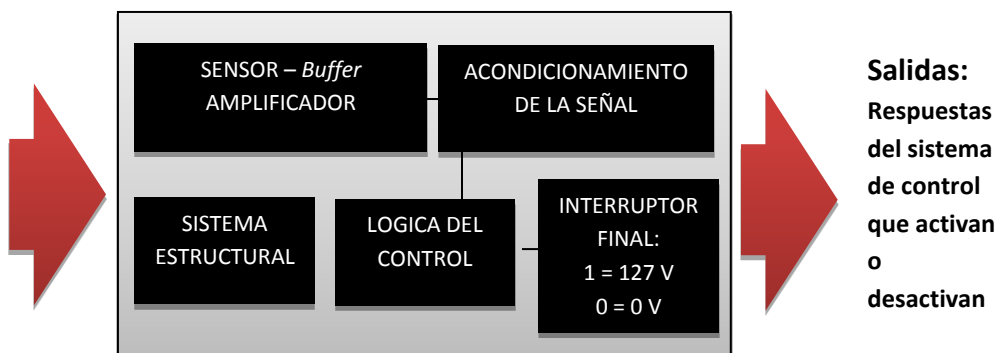


Fig. 4.1 Diagrama de bloques del controlador en general.

Una vez que se identificaron los sistemas que componen a este control en particular se procederá a describir algunos conceptos que sean una propuesta viable para crear un control de temperatura que se adapte a las necesidades del cliente. Todas ellas nos conducen a un fin común, que es el control de la temperatura dentro de un invernadero.

Concepto 1

Uso de comparadores comerciales

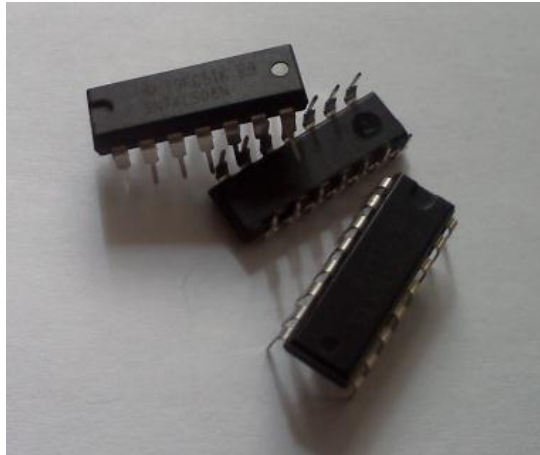


Fig. 4.2 Diversos comparadores.

Desde la parte correspondiente a la amplificación de la señal hasta la que se refiere a la lógica del controlador se pueden utilizar estos Amplificadores Operacionales, empleándolos en sus diferentes tipos de conexiones dependiendo del uso requerido. En lo que se refiere a este concepto, puede utilizarse solamente un circuito integrado donde se contengan el número necesario de Amplificadores Operacionales.

Concepto 2

Uso y programación de un PIC

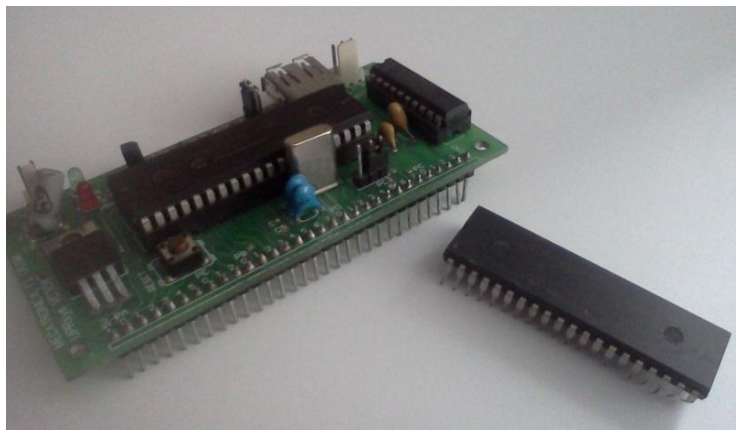


Fig. 4.3 PIC 16F887 solo y en placa para programar.

El uso de un PIC nos permite controlar la temperatura, pero una de sus condiciones es que debe ser previamente programado por lo que este concepto es auxiliado de un software para su programación, además requiere de otros componentes para su funcionamiento.

Concepto 3

Uso y programación de PLC



Fig. 4.4 Algunos ejemplos de PLC.³⁵

En la actualidad los PLC son los de mayor uso en invernaderos, pueden ser programados para cierto número de entradas y salidas, dependiendo de cuales elementos de un invernadero se quieran controlar. Este concepto tiene la característica de tener un elevado costo inicial.

Después de observar los conceptos que fueron propuestos, enseguida se presenta una tabla que contiene las ventajas y desventajas de cada uno de ellos. Esta tabla nos ayudará a seleccionar uno o varios modelos que nos permitan obtener un sistema que cubra la mayor cantidad de requerimientos de control de temperatura en el invernadero.

³⁵<http://www.somosmecatronica.net/2009/02/pdfs-de-plc.html>

	VENTAJAS	DESVENTAJAS
CONCEPTO 1 (Uso de comparadores comerciales).	- Uso de pocos elementos electrónicos para su funcionamiento. - No necesita programación para su funcionamiento. - Bajo costo en sus componentes. - Puede ser adaptado a cualquier temperatura deseada.	- Limitado a un número fijo de entradas y salidas. - Uso exclusivo para temperatura.
CONCEPTO 2 (Uso y programación de un PIC).	- Un relativo costo bajo en componentes. - Puede ser programado varias veces dependiendo del número de entradas y salidas. - Puede ser adaptado a cualquier temperatura deseada. - Puede ser utilizado no solamente en control de temperatura.	- Uso de un número considerable de componentes. - Necesita haber un tipo de programación previa para su funcionamiento. - Horas-programador para su uso. (Eleva el costo final). - Limitado a un máximo número de entradas o salidas.
CONCEPTO 3 (Uso y programación de PLC).	- Puede ser programado varias veces dependiendo del número de entradas y salidas. - Puede ser adaptado a cualquier temperatura deseada. - Puede ser utilizado no solamente en control de temperatura. (Ej.: Riego, el uso más común). - Limitado a un número muy alto de entradas y/o salidas.	- Elevado costo de compra. - Programación para ser utilizado. - Horas-programador para su uso. (Eleva el costo final).

Tabla 4.1 Análisis de los conceptos.

MATRICES DE DECISIÓN

Una vez que se tienen los conceptos y se realizó el respectivo estudio de mercado, se proseguirá a elegir aquél que cumpla con nuestras expectativas, a un bajo costo y atendiendo a las solicitudes de los clientes.

Para determinar el concepto adecuado que podrá aplicarse a un invernadero se utilizaron 10 criterios como punto de comparación, los cuáles se describen a continuación:

- **Costo:** Económicamente hablando, cuando costará el elaborar el controlador.
- **Manipulable:** Que el usuario final pueda modificar en cualquier momento los rangos inferior y superior de temperatura.
- **Operatividad:** Se refiere a que el poder modificar estos rangos, sea de manera sencilla.
- **Portátil:** Una vez instalado el equipo, éste pueda ser situado en otro lado o lugar donde sea requerido.
- **Higiénico:** Que los materiales con los que fue construido el control, cumpla con estándares de calidad que le permitan permanecer en contacto con alimentos de consumo humano.
- **Adaptable:** Referido a que este controlador pueda ser adaptado a cualquier otro invernadero si es requerido.
- **Poco tiempo de mantenimiento:** Que el controlador requiera un mantenimiento mínimo y que éste, si es requerido, se realice en poco tiempo.
- **Eficiente:** Aquí se busca que el controlador, una vez instalado, su trabajo haga denotar una diferencia entre lo que se tenía antes (funcionamiento de manera manual) y lo que se obtiene con este cambio. En pocas palabras, que la energía suministrada a todo el conjunto “invernadero”, tenga un mayor porcentaje de impacto en el producto final.
- **Simplicidad:** La facilidad con la cual se fabricará el control como producto final.
- **Implementación:** Se busca que al momento de ser adquirido sea de fácil instalación, incluyendo conexiones, ingreso de rango de la temperatura deseada y el tiempo en que se está realizando.

Con ellos se elaboró una matriz de decisión, en donde se maneja una tabla que, por un lado contiene los criterios a evaluar y, en la horizontal, los tres conceptos descritos y una cuarta columna con el Datum del controlador climático seleccionado. Para el llenado de esta tabla se utilizó la escala de 0-20 como rango de importancia.

Para obtener un resultado final comparativo se emplearon los signos: (-) si el concepto comparado posee cualidades inferiores al Datum en el criterio correspondiente; (+) si el concepto es superior al Datum en el criterio indicado; (S) si el concepto y el Datum son similares o idénticos en el criterio señalado.

		CONCEPTOS			
Criterio	Importancia	1 Comparadores comerciales.	2 PIC	3 PLC	Termosilic controlador
Costo	18	+	+	S	D
Eficiente	19	-	-	+	A
Simplicidad	13	+	+	+	T
Tiempo de Implementación	15	+	-	S	U
Manipulable	14	S	S	S	M
Portátil	6	+	+	-	
Adaptable	19	+	+	-	
Operatividad	0	+	+	S	
Poco tiempo de mantenimiento	14	+	+	S	
Higiénico	14	S	S	S	
Total +		7	6	2	
Total S		2	2	5	
Total -		1	2	2	

* Que tan fácil o difícil es obtener el criterio a la hora de fabricar el dispositivo.

Tabla 4.2 Matriz de decisión.

El resultado obtenido en la tabla 4.2 permite definir que la decisión a tomar corresponde al concepto 1, es decir, el Amplificador operacional, que de 10 criterios señalados, obtiene la supremacía al compararlo con el Datum en 7 de ellos, es similar en dos casos y sólo es inferior en el criterio que se refiere a Eficiencia.

Una vez realizada la comparación anterior, se construyó la siguiente matriz que se refiere al factor de peso, es decir, de acuerdo a los criterios manejados, determinar con los valor 0 y 1 cuál tiene mayor importancia al compararlo con otro criterio.

Matriz de decisión. (Factor de peso).

	Costo	Manipulable	Operatividad	Portátil	Higiénico	Adaptable	Poco tiempo de mantenimiento	Simplicidad	Automático	Tiempo de Implementación	SUMA	FACTOR DE PESO
Costo	X	0	0	1	1	1	1	0	0	0	4	0.08
Manipulable	1	X	1	1	1	0	1	0	0	0	5	0.11
Operatividad	1	0	X	1	1	0	1	0	0	0	4	0.08
Portátil	0	0	0	X	0	0	0	0	0	0	0	0.00
Higiénico	0	0	0	1	X	0	0	0	0	0	1	0.02
Adaptable	0	1	1	1	1	X	1	0	0	0	5	0.11
Poco tiempo de mantenimiento	0	0	0	1	1	0	X	0	0	0	2	0.04
Eficiente	1	1	1	1	1	1	1	X	0	0	7	0.15
Simplicidad	1	1	1	1	1	1	1	1	X	1	9	0.20
Tiempo de Implementación	1	1	1	1	1	1	1	1	0	X	8	0.17
SUMA											45	1.0

Tabla 4.3 Matriz de decisión. (Factor de peso).

Como se puede desprender al analizar la tabla anterior de factores o criterios de peso, se concluye que existen tres de ellos que pesan o sobresalen de los demás y que deben ser contemplados en el diseño del controlador. Ya que estos tres criterios (Simplicidad, Eficiente y Fácil implementación) deben ser parte crucial en el control, por lo que hay que tenerlos en consideración.

DIAGRAMA DE BLOQUES DEL CONTROLADOR

Después del análisis realizado anteriormente se definió la caja negra donde se desglosan los diferentes sistemas; para su elaboración se consideraron las condiciones que el cliente solicita generalmente (especificaciones y requerimientos) y que son los factores tomados en

cuenta al realizar el control. Con base en lo anterior se diseñó el diagrama de bloques del controlador con el Concepto ya elegido:

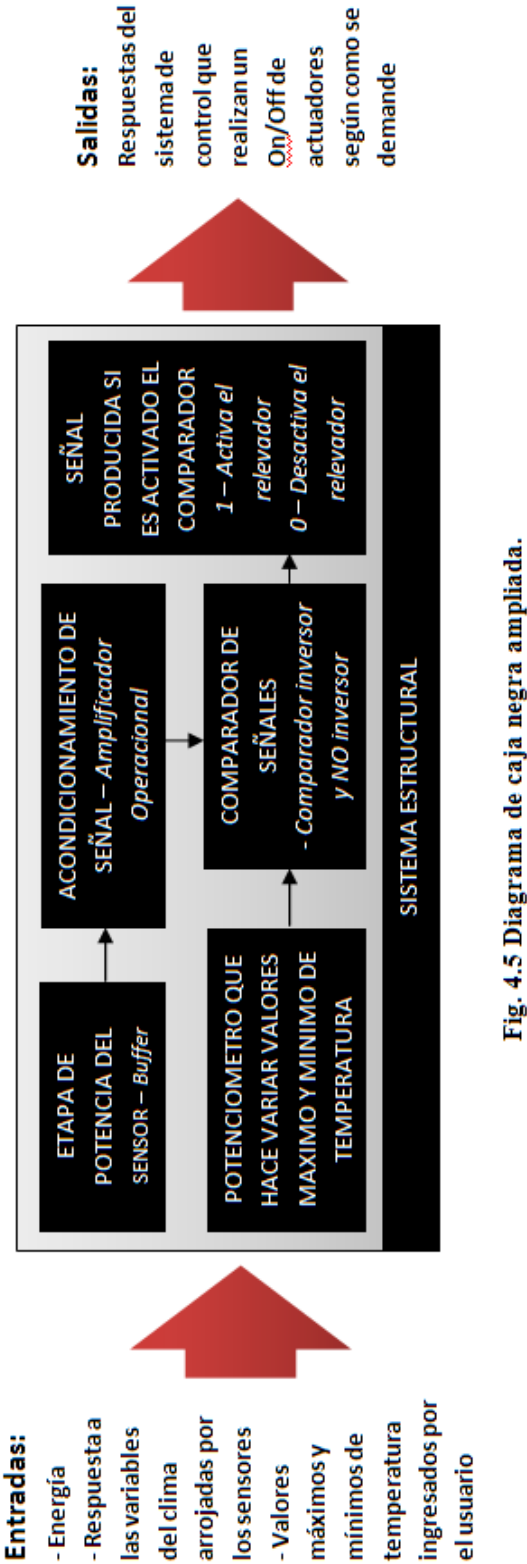


Fig. 4.5 Diagrama de caja negra ampliada.

En la entrada de este diagrama de bloques se registran tres factores principales, la energía que ingresa, muy importante a considerar, ya que sin ella no podremos hacer funcionar el controlador; la respuesta del sensor de temperatura, para esto, cada sistema de medición cuenta con un sensor de temperatura LM35. Estos se encuentran configurados para trabajar con fuente monopolar de voltaje para un rango de trabajo de 0 a 50°C.

La decisión de elegir este tipo de sensor se basó en diversas características entre las que destacan, linealidad, bajo consumo de potencia y facilidad de configuración. El LM35 se caracteriza por proporcionar una salida de voltaje proporcional a la temperatura de 10mV/°C. (Ver anexos)

Y finalmente, como tercera entrada, se incluyen los valores ingresados de forma manual de temperatura deseada como máximo y como mínimo valor. Con esto sabrá el control en que momentos debe de trabajar para cuando sea requerido. Estos valores serán calibrados mediante un preset de ajuste lineal para una mayor exactitud.

Dentro del bloque principal se encuentra la estructura donde estarán soportados todos los elementos.

Una vez que se tiene la señal análoga del sensor LM35, se procede a realizar un Buffer de la señal, para poder realimentarlo, esto se debe a que la señal no viene provista de una corriente importante para activar el circuito, esta forma de acoplar la señal no requiere de ninguna corriente de entrada e incluso puede accionar cualquier circuito deseado sin pérdida de voltaje en la señal. Es por eso que se realiza este proceso, para tener corriente en la señal sin pérdida de voltaje, que es la señal que estamos utilizando como temperatura.

Posteriormente, ya que se tiene una señal aparentemente manejable, se dispone a amplificar esta señal ya que, como se mencionó anteriormente, se están manejando valores de mV por grado centígrado. Una vez amplificada, podemos decir que nuestra señal está acondicionada.

Este valor de la temperatura va a ser comparado mediante Amplificadores Operacionales en modo Comparador NO inversor para temperaturas altas y Comparador inversor para las temperaturas bajas.

Los datos que se tomarán como voltajes de referencia serán ingresados manualmente y mecánicamente por medio de un potenciómetro lineal (Preset) como perilla, para tener una mejor toma del dato ingresado.

Una vez comparada esta señal de la temperatura existente en tiempo real con las de referencia, la lógica del control determinará si es necesario activar un relevador, ya sea para

encender un generador de calor o, en su defecto, inducir la bobina del relevador que encenderá un actuador que hará ingresar aire frío y extraerá aire caliente.

Estos estados tendrán como función mantener un rango de temperatura ideal para la planta que se localiza dentro de este clima controlado. Cuando se encuentre dentro de este rango, el control permanecerá en estado latente para que en su próximo cambio de temperatura recibido por el sensor, éste sea monitoreado y, si se requiere, encender o apagar los relevadores.

Una vez producida la señal de accionamiento, ésta estará regida de forma binaria, donde un 1 lógico hará encender el actuador y un 0 lógico hará apagar dicho actuador, a esto le denominamos salida de nuestro sistema, ya que es la parte final de nuestro proceso, en donde al final, el cambio que se realice en la temperatura por los actuadores y generadores de calor, realimentará al sensor para que éste tome una nueva lectura de la temperatura existente y realice una nueva comparación en el control.

CAPÍTULO IV. SIMULACIÓN

ARMADO DEL CONTROLADOR

Para el armado del control se tomaron en cuenta diferentes parámetros basados en el concepto que se adapta a las necesidades del cliente. Dentro de esas características se encuentran: el bajo costo de adquisición, fácil armado, tiempo de implementación, entre otras.

Entre los elementos a considerar están amplificadores operacionales que fueron utilizados en modo buffer, amplificador, y comparador inversor y no inversor: de igual forma se utilizaron presets, y el sensor de temperatura LM35. Para accionar generadores de calor y ventiladores se utilizaron relevadores de 5V.

Los elementos mencionados anteriormente se muestran en la siguiente tabla 5.1:

Núm.	Elemento	Cantidad	Precio comercial promedio unitario	Precio total
1	Sensor de temperatura LM35*	1	\$20	\$20
2	Amplificador Operacional LM324*	1	\$15	\$15
3	Preset de 10 kOhms	3	\$15	\$45
4	Relevadores RAS – 0510 de 5V DC*	2	\$15	\$30
5	Resistencias varias	3	\$0.50	\$1.50
6	Header hembra	1	\$5	\$5
Total				\$116.50*

*Lo que equivale a 1.98 salarios mínimos correspondientes al año 2011, (zona A).

Tabla 5.1 Precios en promedio de los componentes en el mercado. (Ver apartado de anexos).

Cabe resaltar que este tipo especial de amplificador operacional es empleado debido a que, entre algunas de sus características, en un solo circuito integrado podemos hacer uso de 4 de estos amplificadores operacionales, lo que permite reducir el espacio a utilizar y se puede adaptar a nuestras necesidades.

Para el armado del controlador se consideraron los datos arrojados por las tablas anteriores (matrices de decisión), es por eso que se tomó la opción de usar un controlador tipo On/Off debido a que el tiempo de respuesta no afectando nuestro sistema a controlar.

Como se menciona anteriormente, este tipo de controlador no es muy preciso, pero es muy útil para el sistema donde va a ser empleado.

En el Capítulo I se abordó el tema de los invernaderos donde destaca que son grandes extensiones de terrenos donde se requiere controlar el clima interior, de forma que se obtenga un producto final de calidad y que se obtengan cosechas a lo largo del año sin que se vea afectado por el clima del exterior.

La gran dimensión del invernadero provoca un retraso de la señal que arroja el sensor de temperatura al controlador, evitando así el encendido o apagado de los actuadores en un periodo corto de tiempo pudiendo afectar o dañar los dispositivos que regulan los cambios de temperatura (generadores de calor y/o ventiladores o algún sistema cooling).

En la siguiente gráfica se presenta el tiempo y forma de respuesta de un controlador tipo On/Off, en donde se observa que la respuesta no es muy rápida, pero tampoco es requerida una respuesta de manera inmediata por parte del sistema que se va a controlar.

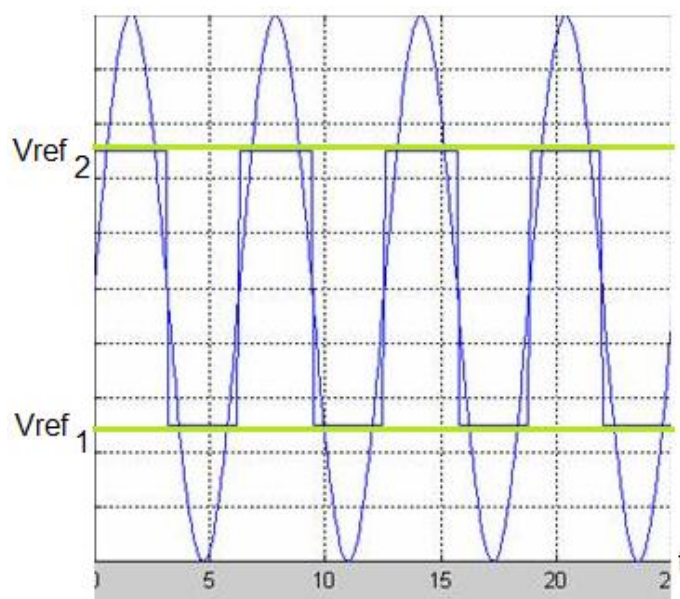


Fig. 5.1 Muestra de la señal de un control On/Off.

Esta acción de On/Off puede ser fácilmente recreado con amplificadores operacionales, pero para mantener nuestro clima dentro del invernadero en un rango de temperatura se utilizará el amplificador operacional en modo comparador inversor y no inversor, logrando así un rango en donde ninguno de los actuadores se encuentra encendido y la temperatura interior es ideal para la hortaliza.

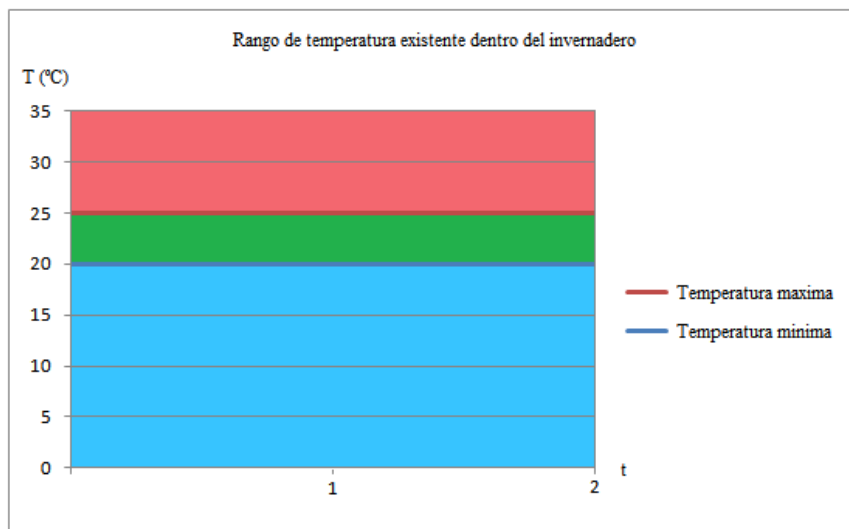


Fig. 5.2 Rangos visuales de temperatura.

En el gráfico anterior se ilustra la forma en que funciona el amplificador operacional, que consiste en mantener la temperatura interior del invernadero dentro de la zona de color verde. Cuando la temperatura desciende hacia la zona azul el amplificador operacional comenzará a funcionar en modo comparador no inversor, pero si la temperatura asciende hacia la zona de color rojo, el amplificador se activará en modo comparador inversor.

Para activar los actuadores y/o dispositivos con la señal proveniente del amplificador operacional, se dispone de un relevador, cuya función consiste en manejar voltajes diferentes de acuerdo con los requerimientos del dispositivo a accionar por medio de la señal del amplificador.

Esta señal, por el funcionamiento de los relevadores, accionará una bobina interna que llega del estado normalmente abierto a otro estado donde se podrá dejar pasar el voltaje requerido al dispositivo.

Una vez que se sentaron las bases para el armado del control, se procederá a la construcción del controlador propuesto, pero no sin antes probar si todo lo dicho anteriormente funciona de una manera correcta.

Para esto, haremos uso de programas de simulación y así verificar su debido funcionamiento antes de realizar un gasto en elementos para su construcción física. La ventaja de realizar esta simulación es que se pueden hacer correcciones antes del armado, y así implementar en un prototipo de invernadero o, si es el caso, en un invernadero de tamaño industrial.

APLICACIÓN DE PROGRAMAS DE SIMULACIÓN

Para validar nuestro controlador, es necesario probarlo; para esto se utilizará el software PROTEUS, que es un programa que nos permite construir un circuito, probarlo y exportarlo a una segunda aplicación donde es posible mostrar una imagen de las pistas del circuito y una pre visualización del circuito.

Para construir el controlador es necesario ver las hojas de referencia de cada uno de los elementos involucrados. Al leer dichas hojas de referencia, podremos ver cómo es que se conectan los elementos entre sí, viendo el patillaje de los CI y algún otro dispositivo, cuáles son sus salidas y entradas.

Una de las ventajas de este programa es que tiene una gran aproximación con la simulación electrónica que es la que se utilizaría para un prototipo ya elaborado físicamente.

Primero se utilizará el modulo ISIS (Intelligent Schematic Input System), en donde diseñaremos el plano eléctrico del circuito que vamos a realizar utilizando los componentes que se mencionaron.

En la hoja de ISIS se probará desde el funcionamiento del sensor de temperatura LM35, hasta su debido acondicionamiento de señal, la comparación, conexión con relevadores y su salida final.

En la imagen siguiente se observa la primera sección del control prototipo trabajada en el software descrito anteriormente y que se pondrá en marcha:

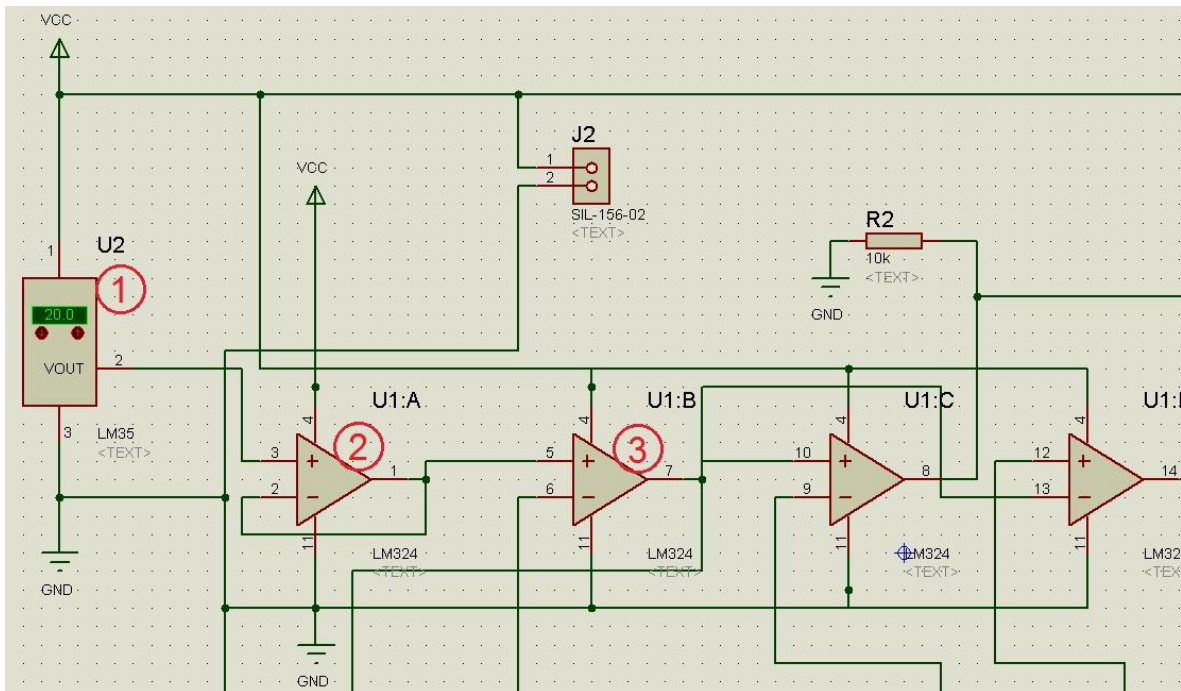


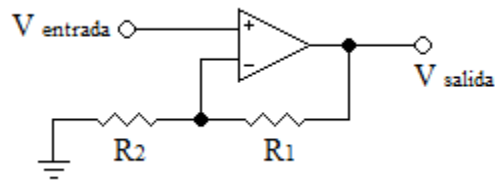
Fig. 5.3 Primera sección del circuito.

En la imagen anterior obtenida de Proteus del módulo ISIS, podemos observar los puntos señalados como 1, 2 y 3. En estos primeros tres puntos abarcamos lo que sería la primera parte del control, en donde la señal del sensor es adaptada y acondicionada a las necesidades que se requieren.

En el punto número 1 vemos la conexión del sensor LM35, que está realizada de tal forma que la relación voltaje-temperatura sea de $10 \text{ mV} / ^\circ\text{C}$. Dado que se dificulta manejar señales de ese rango, es necesario realizar una amplificación de voltaje, no sin antes efectuar una realimentación de corriente por medio de un buffer que, como se explicó anteriormente, es necesaria para este tipo de sensores.

Una vez que se realiza esta operación, se amplifica el voltaje, para usar los valores con mayor comodidad; la amplificación será de 10 veces.

Mediante el cálculo de los valores de las resistencias sabremos cuales utilizar, a continuación se muestran estos cálculos:



$$V_{salida} = V_{entrada} \left(1 + \frac{R2}{R1} \right)$$

$$V_{salida} = V_{entrada} \left(1 + \frac{9k\Omega}{1k\Omega} \right)$$

$$V_{salida} = V_{entrada}(10)$$

Este procedimiento nos permite obtener valores para R1 de 1 k Ω y R2 de 9 k Ω . Ya que comercialmente no existen valores exactos de las resistencias anteriormente obtenidas, se optó por utilizar una de un valor aproximado de 1k Ω y la segunda resistencia con un valor variable, utilizando un preset.

Una vez ajustada esta señal, se prosiguió a la segunda etapa, como podemos ver en la siguiente imagen, en donde es comparado este voltaje mediante amplificadores operacionales en modo inversor y no inversor.

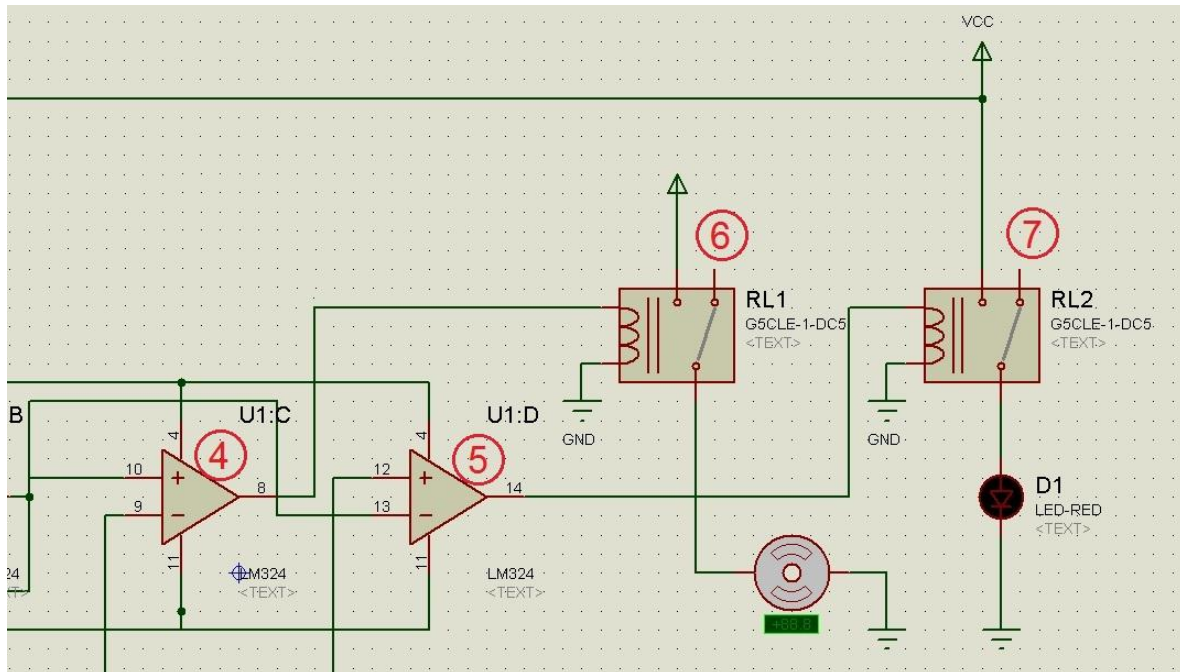


Fig. 5.4 Segunda sección del circuito.

En esta segunda etapa, el voltaje de salida ya multiplicado del amplificador operacional, es comparado mediante el “comparador no inversor” (4) y también por el “inversor” (5), estos voltajes son comparados con los otros voltajes provenientes de los valores máximo y mínimo calibrados por el usuario mediante resistencias variables.

En el comparador no inversor mostrado con el número 4, ingresa el voltaje proveniente del sensor de temperatura una vez acondicionado. Este voltaje entra como señal no inversora (+), es comparado el valor máximo que suministra el usuario, y si éste sobrepasa el nivel preestablecido, automáticamente arrojará un 1 lógico a la salida, de lo contrario, arrojará constantemente un 0 lógico. Posteriormente, marcado con el número 6, está el relevador NA, que es activado por la señal resultante del comparador 4. El relevador se cierra y permite pasar otro voltaje previamente establecido o adaptado (ya sea de corriente directa o alterna) al dispositivo requerido.

El voltaje que ha sido dispuesto para nuestra necesidad y que proviene del sensor LM35, entra, de igual manera, por el comparador marcado con el número 5 como señal inversora ya que, a diferencia del comparador 4, será activado cuando el valor esté por debajo del nivel mínimo suministrado por el usuario.

Marcado con el número 7, el relevador será activado por la señal que provenga del comparador 5; al igual que el relevador 6, una vez que se cierre permitirá pasar otro voltaje previamente conectado o adaptado (ya sea de corriente directa o alterna) al dispositivo requerido.

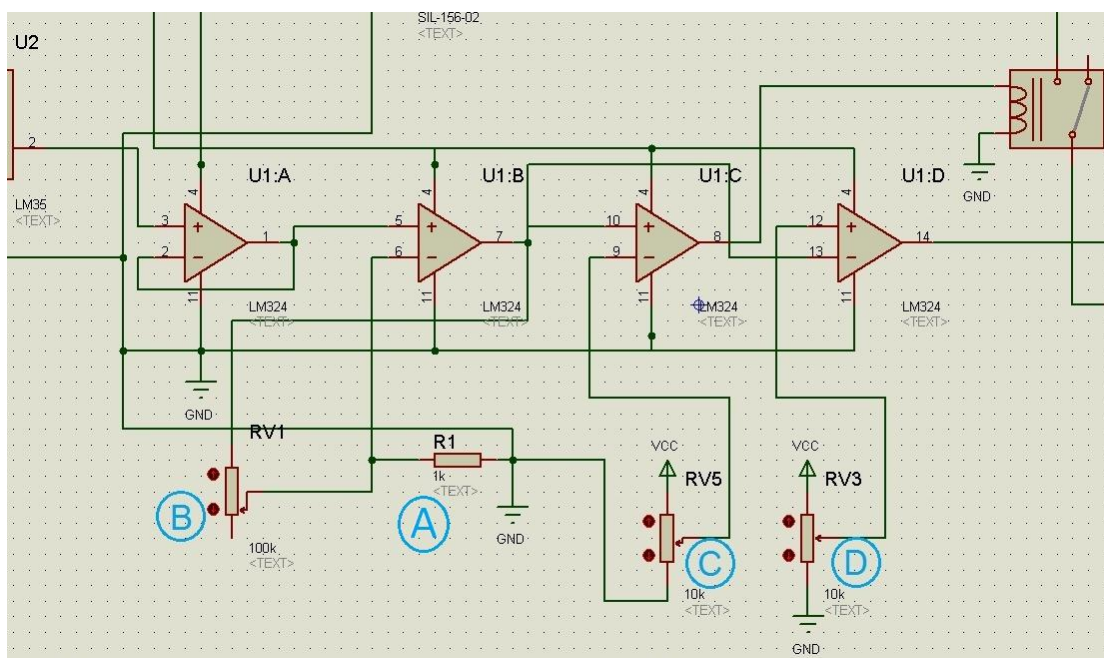


Fig. 5.5 Tercera sección del circuito.

En la figura anterior se muestra la sección de regulación y calibración de los amplificadores operacionales y de los valores límites máximo y mínimo de temperatura a mantener por medio de las resistencias variables (preset). La resistencia marcada con la letra A con valor de $1k\Omega$, como se mencionó antes, contempla la parte de acondicionamiento (Amplificación) del voltaje, al igual que la resistencia variable B.

Por último, las resistencias variables (C, D), son las encargadas de mandar el voltaje acondicionado por el usuario para el funcionamiento para el cuál es requerido.

VALIDACIÓN DEL CONTROLADOR

Para probar lo mencionado en la sección anterior, se observarán los cambios que se produzcan en el voltaje del circuito, colocando probadores de voltaje en diferentes partes del mismo y así determinar su correcto funcionamiento.

Con la ayuda de la simulación realizada en el programa Proteus, se demostrará cómo funciona el circuito; se someterá a tres casos en particular, uno cuando la temperatura esté por debajo de los 20°C , la segunda cuando se encuentre por arriba de los 25°C y la tercera y última, cuando el valor se registre entre los 20°C y 25°C , tomado arbitrariamente.

Para comprobar que el funcionamiento del control es correcto, se adaptaron, simbólicamente, un motor de DC y un LED rojo, para registrar el momento en que inicie su funcionamiento el ventilador, representado con el motor y cuando prenda el generador de calor, representado con el LED rojo.

Para el primer caso, la temperatura arrojada por el sensor LM35 se ubica con un voltaje que tenga por salida un valor inferior a 20°C .

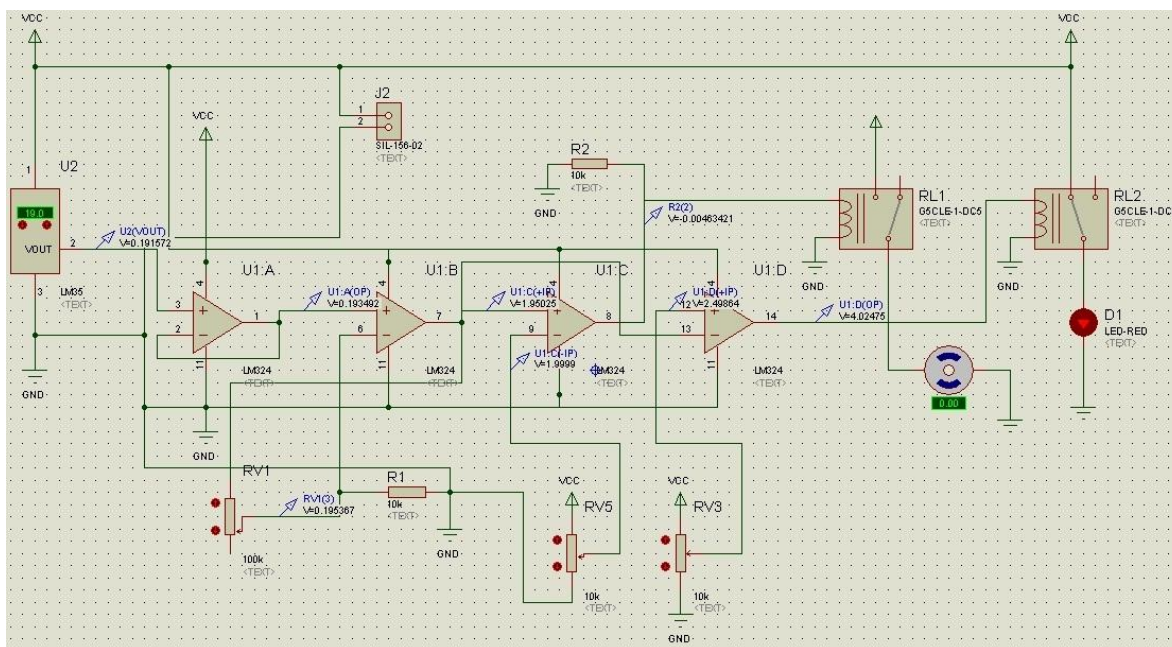


Fig. 5.6 Circuito funcionando con LM35 indicando menos de 20°C.

Como se aprecia en la figura anterior, el funcionamiento del dispositivo generador de calor se puede comprobar si indicamos al sensor de temperatura que lea de manera simbólica en la simulación una temperatura de 19°C; entonces observaremos a la salida de este sensor un voltaje de 0.1915 V.

Posteriormente, al pasar por la etapa de acondicionamiento, tenemos mostrado un voltaje de 1.9502 (dado que las resistencias variables, en la simulación, tienen rangos fijos de variación, no es posible ajustarlas a un voltaje próximo al deseado).

Como este voltaje está por debajo del límite mínimo (20°C), automáticamente es activado el relevador correspondiente que alimenta algún generador de calor, mediante el comparador encargado de realizar esta operación.

Como se observa en la figura 5.6, el circuito funciona correctamente a temperaturas por debajo de las indicadas previamente.

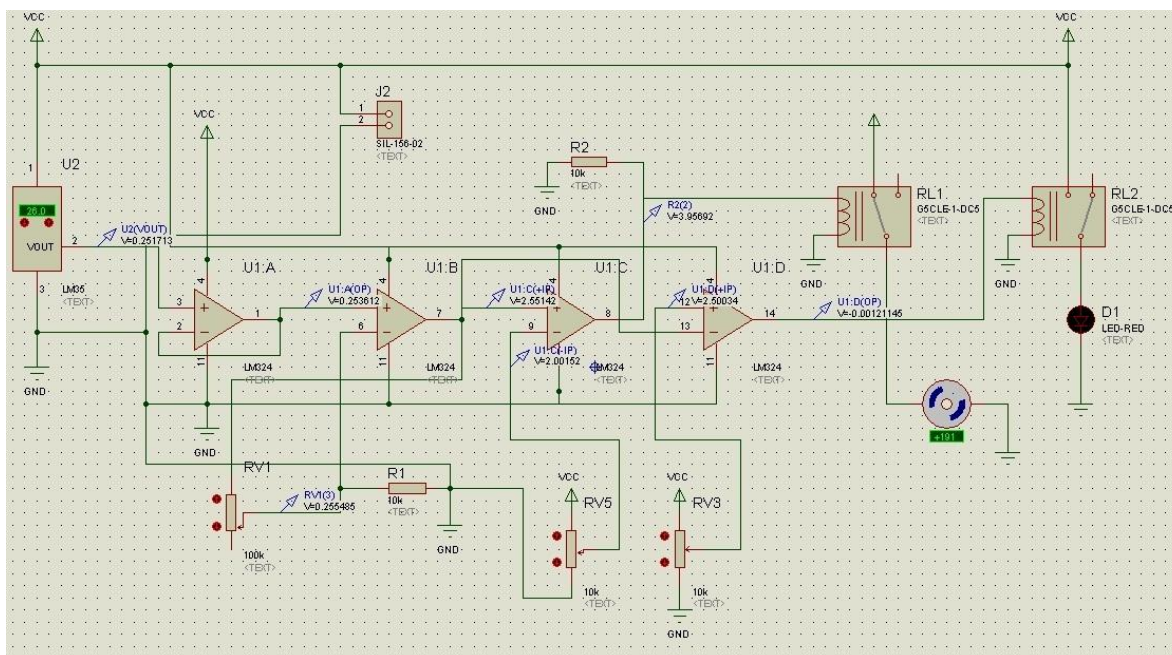


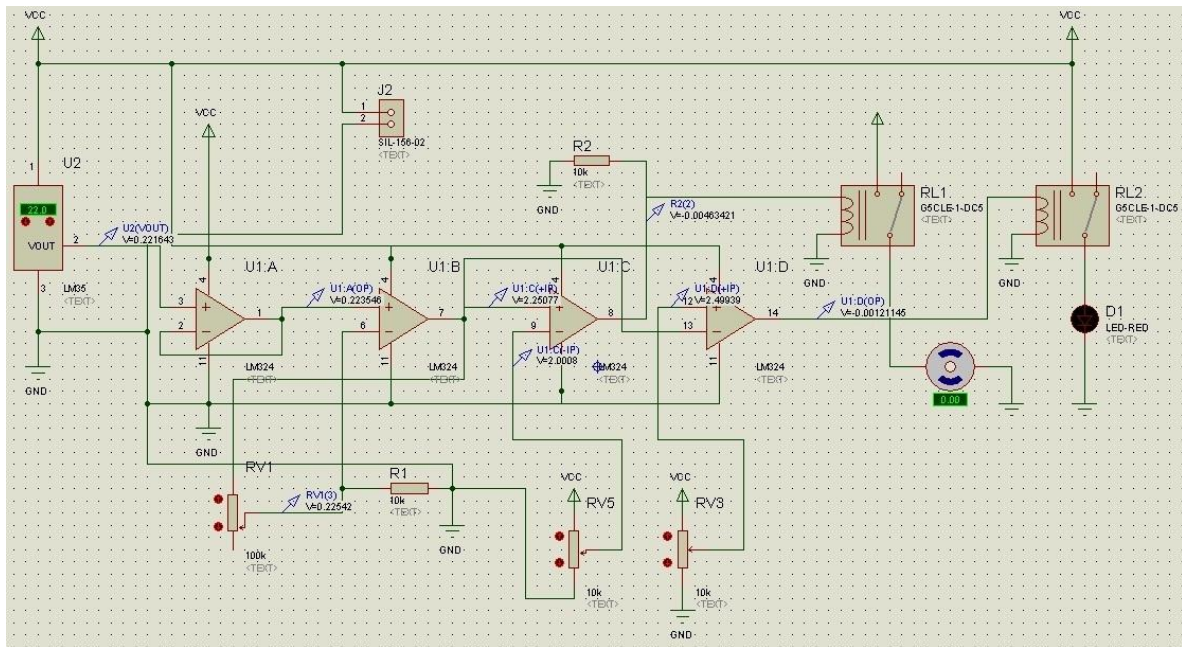
Fig. 5.7 Circuito funcionando con LM35 indicando más de 25°C.

Como se indicó al inicio de esta sección, ahora es el turno de hacer la simulación para temperaturas por encima del máximo indicado. Para este caso, se utilizó un valor de temperatura de 26°C.

En la figura 5.7 se muestra que el voltaje de salida del LM35 señala un valor de 0.2517 V, una vez acondicionado este voltaje, es comparado por ambos amplificadores operacionales en modo inversor y no inversor (ya que así es como está realizada la conexión), pero este voltaje solo hace que uno de estos comparadores sea activado, el cuál es el amplificador operacional conectado como comparador no inversor.

Este comparador al recibir dicho voltaje por encima del máximo estipulado, activa al relevador que es el encargado de accionar el dispositivo conveniente. Una vez que este actuador encienda algún mecanismo que haga descender la temperatura, logrando así marcar un valor menor al máximo seleccionado, el amplificador operacional desactivará dicho dispositivo y lo llevará a una posición de apagado (NA) al relevador.

Es importante señalar que la temperatura es monitoreada todo el tiempo por el controlador, tomando en cuenta cualquier variación de temperatura existente, ya que al sobrepasar el límite establecido, activará alguno de los relevadores.



En el caso de la figura anterior, el controlador es sometido, dentro de la simulación, a una temperatura situada entre los 20°C y 25°C, en este caso, se realiza la prueba con una temperatura de 22°C.

Así mismo se observa que el circuito funciona de manera correcta al no activar ninguno de los relevadores y, a su vez, manteniendo apagados a los dispositivos existentes.

Una vez representadas las tres simulaciones de variables de temperatura y habiendo comprobado de forma virtual en todos los casos el correcto funcionamiento del mecanismo se proseguirá con la construcción del prototipo de controlador el cuál se aplicará en un prototipo de invernadero para validar y verificar su funcionamiento.

CAPÍTULO V. PROTOTIPO

CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPOS DE INVERNADERO Y CONTROLADOR

Para implementar el controlador y verificar su funcionamiento fue necesario realizar dos acciones, la primera de ellas consistió en construir el control y en segundo lugar se procedió a la construcción de un prototipo de invernadero, donde fuera posible verificar la operación del control.

Estos dos prototipos fueron diseñados a escala pero con un tamaño conveniente para que el usuario pudiera entrar al invernadero y monitorear el correcto funcionamiento del control y, como consecuencia, verificar el crecimiento esperado de las plantas.

Para la construcción del prototipo del control fue necesario realizar, con ayuda del módulo de ARES del software de PROTEUS, una pre visualización del montaje final de los componentes, la forma en que estarán ubicados y cómo se soldarán a una placa final.

La figura 6.1 muestra una forma de cómo sería el armado del controlador en una placa para su posterior implementación en un invernadero.

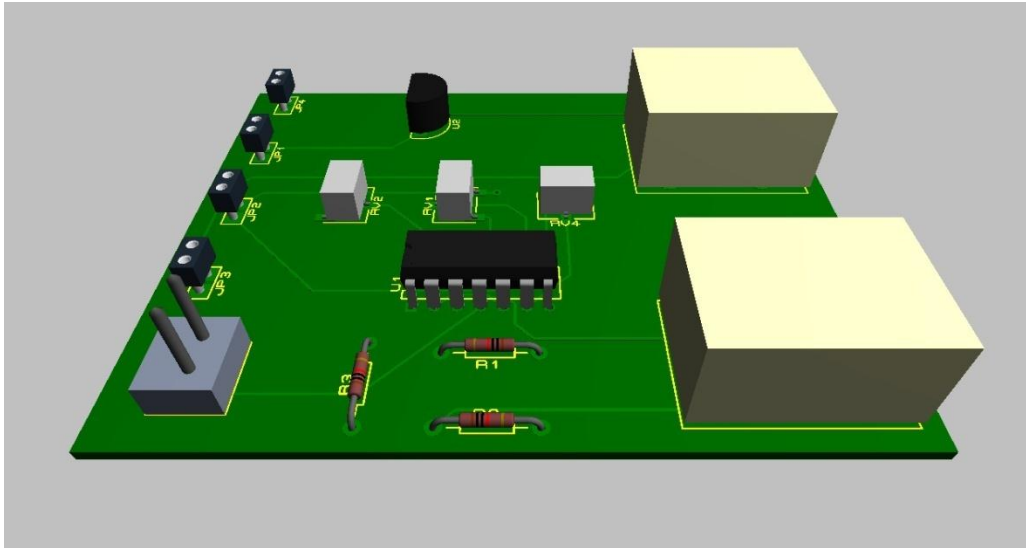


Fig. 6.1 Controlador final con los dispositivos montados en la placa.

En la figura anterior se colocaron en el extremo izquierdo las entradas y salidas del control. En la parte central, y siguiendo un orden de arriba hacia abajo se localizan: el sensor de temperatura LM35, los preset (los cuales podrán tener una implementación mecánica para que el usuario pueda manipularlos con mayor facilidad), el amplificador operacional LM324 y las resistencias. Finalmente, en el extremo derecho de la placa se encuentran los relevadores que activarán a los actuadores con el debido voltaje al que son requeridos. (Para ver la forma de las pistas, ver anexos).

Una vez descrita la ubicación de los elementos que se van a utilizar, se procedió a su construcción e implementación.

Para la implementación del control fue necesaria la construcción de un prototipo de invernadero donde se pudiera verificar su funcionamiento.

El invernadero fue construido tomando en cuenta no solo los niveles de temperatura adecuados, también la humedad necesaria en tierra y en el ambiente, ya que todos estos factores influyen en la temperatura final dentro del microclima que se quiere controlar.

En el desarrollo y construcción se tomaron en cuenta factores externos, tales como la localización, el clima y rangos de temperatura promedios existentes las 24 hrs del día.

Cabe mencionar que la temperatura externa del lugar donde se encuentra el invernadero, influye directamente en el uso de los generadores de calor o los ventiladores. Cuando la exposición a la radiación solar es prolongada se eleva la temperatura interior activándose

los ventiladores. En caso contrario, cuando la temperatura baja a niveles mínimos, en el interior del invernadero se activarán los generadores de calor para mantener la temperatura adecuada.

En cualquiera de las dos situaciones el consumo de electricidad (watts consumidos) impactará a la inversión inicial y, en consecuencia, elevará los costos de producción los que repercutirán en la venta del producto al consumidor.

El prototipo de invernadero se diseñó originalmente mediante un modelo en computadora utilizando el software Solid Edge V20, con la intención de que este trabajo fuera lo más cercano a lo proyectado, corrigiendo los errores que se pudieran detectar antes de implementar su construcción real.

En las siguientes imágenes se muestra de manera virtual como es que se construiría el prototipo para su funcionamiento en conjunto con el control.

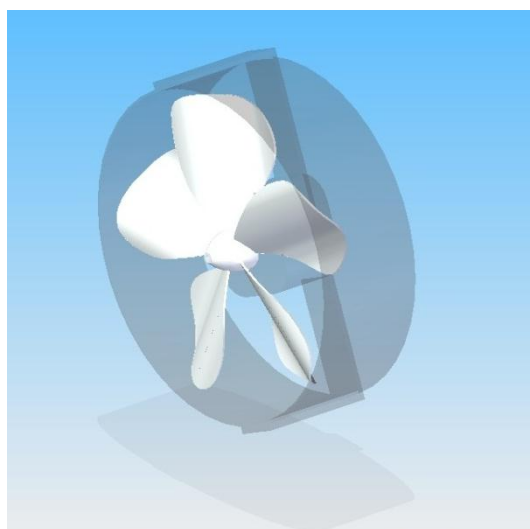


Fig. 6.2 Ventilador a montar.

El ventilador de la figura anterior representa el modelo utilizado en el prototipo del invernadero. Se utilizaron tres de estos ventiladores, de los cuales dos son inyectores y un extractor de aire.

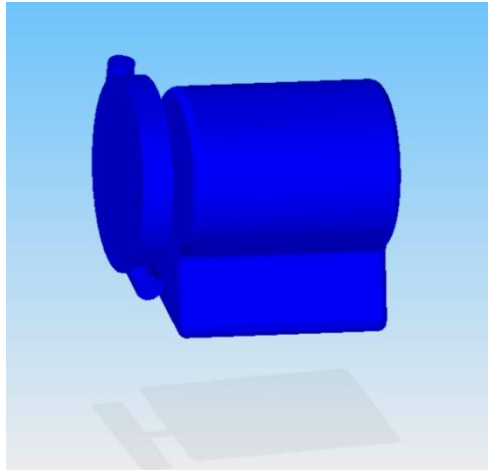


Fig. 6.3 Bomba de agua del sistema de riego en el invernadero (3/4 Hp).

Para implementar un sistema de riego dentro del invernadero se instaló una bomba de $\frac{3}{4}$ de Hp para impulsar el agua a través de tuberías de PVC; además, para evitar pérdidas excesivas de agua, ésta se recolectaba en una plataforma que recolectara el agua y fuera conducida a un depósito de almacenamiento donde podía ser nuevamente utilizada para un próximo uso.

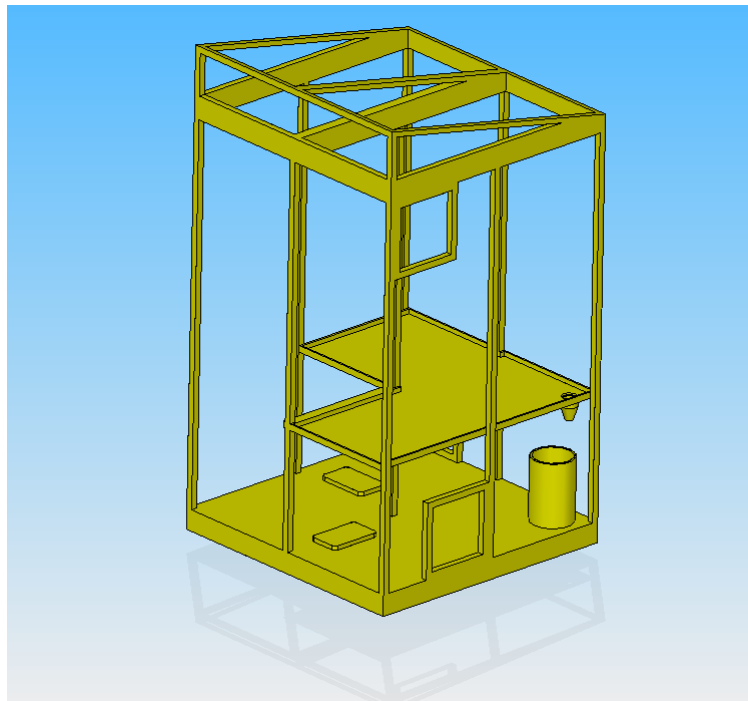


Fig. 6.4 Estructura del invernadero.

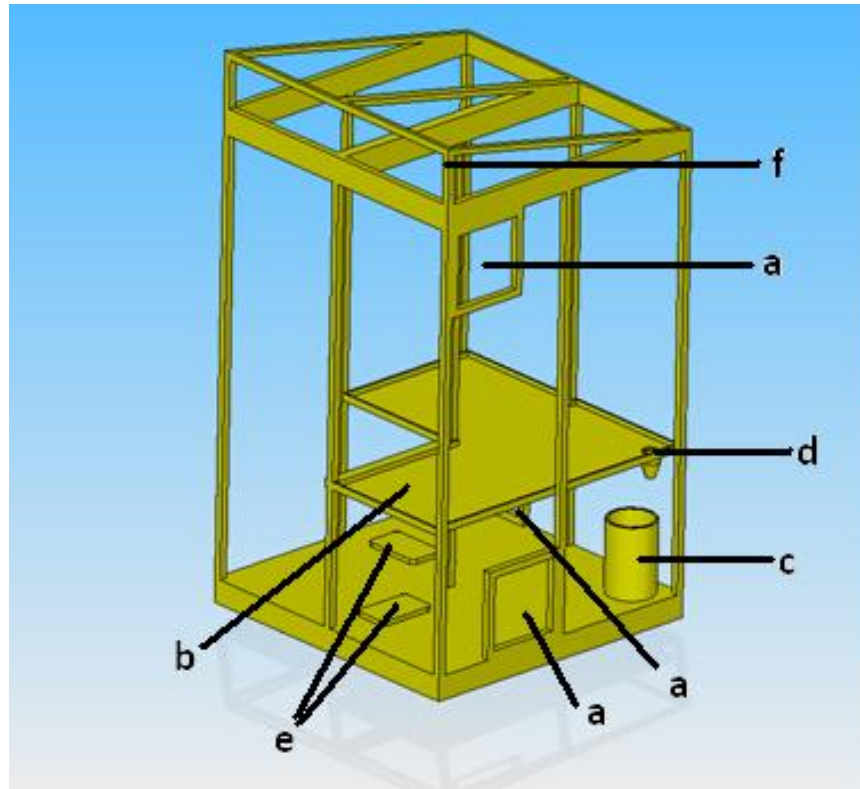


Fig. 6.5 Estructura del invernadero.

Para esclarecer lo citado anteriormente, en la figura 6.5 se presenta una pre visualización del prototipo de invernadero construido en el programa Solid Edge y que señala las siguientes partes:

- a. Lugar donde se montarán los ventiladores (extractor e inyectores)
- b. Mesa donde serán situadas las plantas.
- c. Depósito de almacenamiento de agua.
- d. Tubería de drenaje que conduce el agua al depósito.
- e. Lugar donde serán colocados los generadores de calor.
- f. Techo en forma de “diente de sierra” del invernadero.

Con respecto al diseño del techo de este prototipo de invernadero se puede apreciar que la forma “diente de sierra” presenta un plano inclinado de aproximadamente 30° , que permite una ventilación adecuada del invernadero. De igual forma se debe tener en cuenta que hay que colocar una canaleta de desagüe para controlar el agua de lluvia que se desliza por el techo y, de esta forma, evitar que el agua penetre al interior del invernadero.

Las características de este invernadero son idénticas al tipo “capilla de dos aguas”, con la ventaja de ver ampliada su superficie de ventilación por la abertura cenital que supone el “diente de sierra”.³⁶

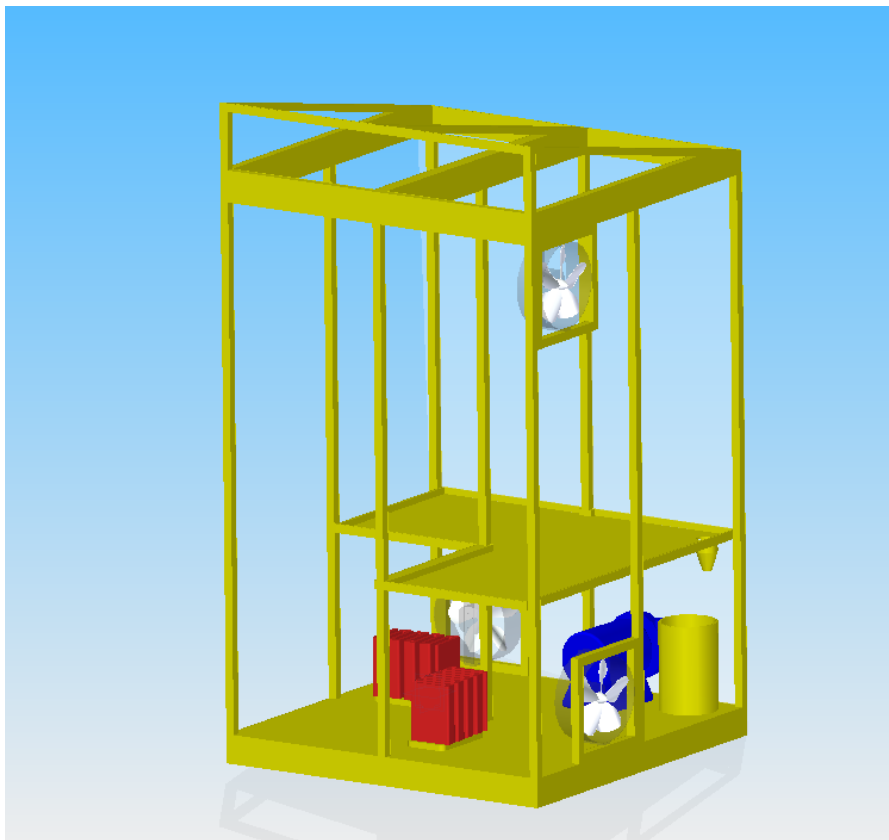


Fig. 6.6 Armado y montaje de los dispositivos y actuadores.

En la siguiente fase de montaje final de todos los elementos, se realizó el modelo por computadora para ubicar los actuadores, ventiladores, bomba de agua, tuberías, depósito de almacenamiento y la entrada al invernadero. Este procedimiento nos permitió la construcción física del prototipo con mayor facilidad.

Cabe mencionar que este prototipo de invernadero tiene como finalidad comprobar el correcto funcionamiento del controlador para este pequeño invernadero en particular.

³⁶ Serrano Cermeño, Zoilo. Construcción de Invernaderos, Ed. Mundi-prensa, España, 2005 p.72 de 499

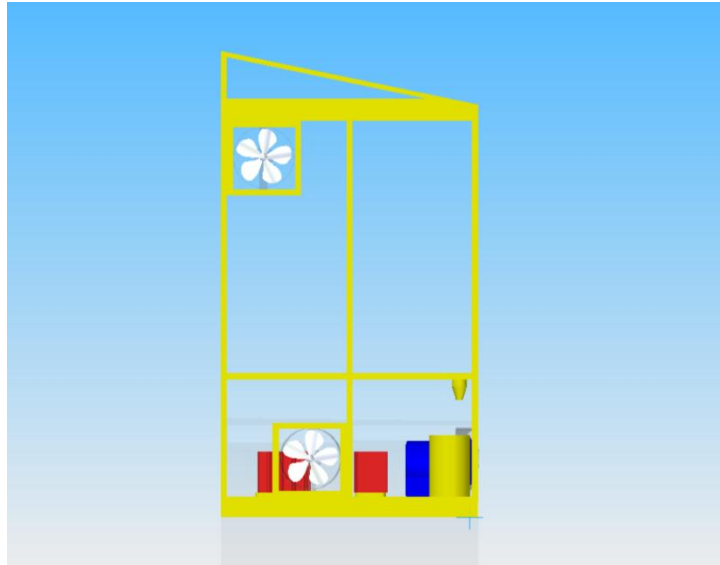


Fig. 6.7 Vista lateral del diseño.

En la figura 6.7 se destaca la forma del techo que permite una buena ventilación del invernadero y, de igual manera, se observa el embudo que servirá como conducto de transferencia del agua hacia el depósito.

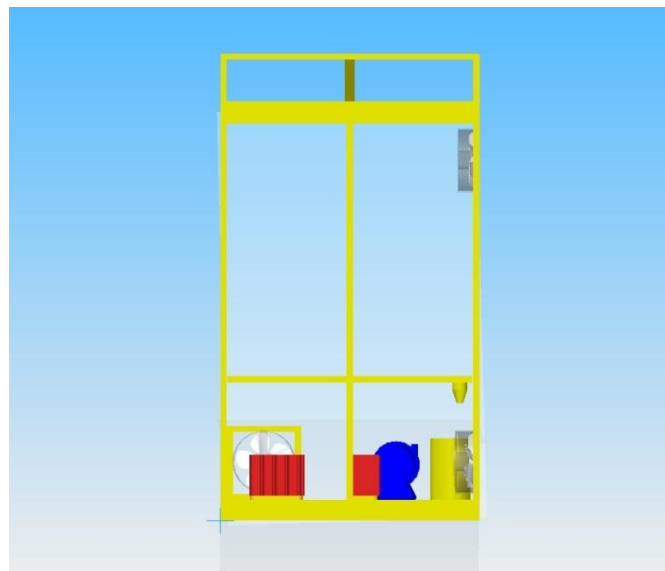


Fig. 6.8 Vista frontal del diseño.

La figura 6.8 nos muestra la distribución de los elementos y las dimensiones del invernadero (para más detalles ver anexo).

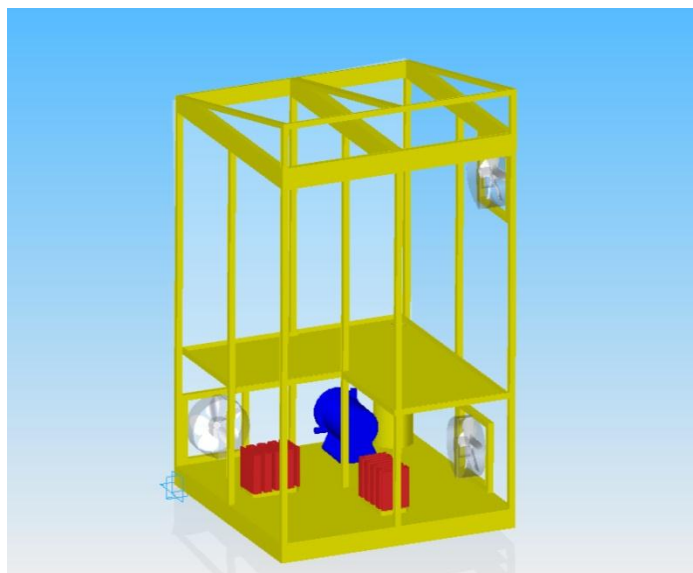


Fig. 6.9 Render final del diseño.

En la imagen 6.9 se muestra la dimensión final de la mesa donde se colocarán las plantas y el lugar de acceso por donde el usuario puede realizar el monitoreo del controlador propuesto para verificar el buen funcionamiento del control y el crecimiento de las plantas.

Por las imágenes mostradas se puede observar que el prototipo tiene unas dimensiones relativamente pequeñas pero, para el objetivo del proyecto es apropiado su tamaño para comprobar en la realidad que se están efectuando las tareas de acuerdo al prototipo establecido de forma virtual y, aún más, para hacer correcciones o modificaciones si fuera necesario.

Se puntualiza que para invernaderos de mayores dimensiones se tiene la posibilidad de extrapolar tanto el control como los dispositivos del diseño a una escala deseada o requerida.

Las dimensiones del prototipo del invernadero, son las que se muestran en los planos elaborados en el mismo software en donde se construyó el diseño, pero esta vez, utilizando un diferente módulo de este programa. (Ver apartado de anexos).

Una vez que se tienen los planos y la idea más clara de manera virtual, se procedió a la construcción del prototipo de invernadero. A continuación se ilustra al lector con un serie de fotografías que muestran la ubicación de todos los componentes que le dieron forma para concluir con la instalación física del controlador de temperatura y su funcionamiento en clima frío y cálido.



1. Estructura del invernadero recubierta con plástico transparente y



2. Soporte de las plantas. Generador de calor e iluminación en la parte superior.



3. Muestra de depósito donde se sembraron las semillas de jitomate y tuberías de riego.



4. Ubicación del sensor LM35.



5. Ubicación de los ventiladores como sistema de enfriamiento en clima cálido.



6. Sistema de calefacción en el invernadero funcionando en clima frío.

Fig. 6.10 Proceso de construcción e implementación de los prototipos de invernadero y control de temperatura.

La construcción del prototipo tomó su tiempo, pero finalmente se pudieron ver los resultados de manera satisfactoria. Tanto en las fotografías de la construcción, como en el modelo virtual, se observa de qué forma fueron colocados los dispositivos conectados a los relevadores.

Estos componentes nos permitieron detectar los cambios de temperatura en dos ciclos; el primero de ellos corresponde al momento en que el invernadero está expuesto a temperaturas frías y/o durante la noche y el segundo cuando se ve afectado por temperaturas cálidas las cuales podremos encontrar por lo general durante el medio día.

En la primera fotografía se demuestra que cuando el invernadero atraviesa por períodos de baja temperatura el sensor la detecta y por medio de la lógica del controlador, activa los generadores de calor ubicados en la parte inferior ya que es donde tiende a ubicarse el aire frío. Cuando el aire se calienta disminuye su densidad y sube a todo el invernadero calentando la atmósfera interior.

En la segunda fotografía cuando el sensor detecta que la temperatura se elevó por encima de la máxima permitida, la lógica del controlador activa los ventiladores ubicados en la parte inferior originando que el aire circule e inyectan aire frío al invernadero, el tercer ventilador que se localiza en la parte superior extrae el aire caliente y se produce una circulación de aire renovado proveniente del exterior que reducirá la temperatura hasta los niveles establecidos.

EVALUACIÓN DE SU FUNCIONAMIENTO

Antes de iniciar la evaluación del funcionamiento de este controlador de temperatura es pertinente señalar algunos datos referentes al prototipo de invernadero y que están adecuados para lograr el objetivo del proyecto.

DIMENSIONES			
ALTO 1	ALTO 2	ANCHO	FONDO
2.26 [m]	2.0 [m]	1.25 [m]	1.25 [m]

Tabla 6.1 Dimensiones del invernadero.

ASPECTO	TAMAÑO
Cuerpo del invernadero.	3.125 [m ³]
Techo del invernadero.	0.203 [m ³]
TOTAL	3.328 [m ³]

Tabla 6.2 Volúmenes del invernadero.

Además del aspecto físico del invernadero también es necesario conocer otros datos que contribuyeron para demostrar la eficiencia del sistema a través del registro de las observaciones realizadas durante la investigación:

ASPECTO	DATO
Superficie de siembra.	1.17 [m ²]
Número de plantas sembradas.	12
Fecha de inicio de siembra.	17 de enero 2011
Días de funcionamiento.	58 DIAS

Tabla 6.3 Algunos datos sobresalientes respecto al invernadero.

Una vez identificados los datos anteriores es preciso señalar que para la evaluación debemos retomar las condiciones resultantes de las matrices de decisión planteadas en el Capítulo III y que fueron las siguientes: que el control sea autónomo, eficiente y de fácil implementación. Por lo que a continuación se hace referencia nuevamente a estos conceptos:

- **Eficiente:** Aquí se busca que el controlador, una vez instalado, su trabajo haga denotar una diferencia entre lo que se tenía antes (funcionamiento de manera manual) y lo que se obtiene con este cambio. En pocas palabras, que la energía suministrada a todo el conjunto “invernadero”, tenga un mayor porcentaje de impacto en el producto final.
- **Simplicidad:** La facilidad con la cual se fabricará el control como producto final.
- **Implementación:** Se busca que al momento de ser adquirido sea de fácil instalación, incluyendo conexiones, ingreso de rango de la temperatura deseada y el tiempo en que se está realizando.

Referente al apartado de eficiencia, tenemos que la energía suministrada es puramente eléctrica, en comparación con otro espacio que no cuente con un control, tendremos que suministrar energía física, mecánica y eléctrica, que repercutirá en un bajo porcentaje de eficiencia.

Para un invernadero en donde se maneja un control de este tipo, la cosecha no corre el mismo riesgo de sufrir por las inclemencias del tiempo, por el contrario, éste siempre se encuentra en un microclima que se encarga de favorecer una cosecha cien por ciento confiable y de buena calidad; a diferencia de un cultivo a cielo abierto o bien, que no cuenta con una regulación de temperatura en tiempo real.

En este Capítulo se comprobará que durante el tiempo en que se implementó el control de temperatura en el prototipo de invernadero todos los elementos funcionaron sin problema alguno y con buenos resultados.

Con respecto al apartado de “Automático”, se confirma el logro del objetivo, ya que el control, enciende y apaga los dispositivos, logrando así generar el clima deseado dentro del invernadero. Sin embargo debemos aclarar que un sistema de este tipo aún cuando sea automático debe ser monitoreado en todos los elementos para verificar su correcto funcionamiento; en el caso del prototipo este monitoreo se realizaba dos veces al día y no hubo necesidad de corregir alguno de sus componentes.

Por último, en relación con el apartado de “Implementación del control”, la instalación del control fue en tiempo breve y de forma exitosa si se considera que sólo había que conectar

los actuadores correspondientes sin necesidad de una previa programación. Resulta sencillo si se cuenta con una preinstalación de los dispositivos que serán controlados para regular la temperatura. Una vez instalado se deben ingresar los datos de referencia para ubicar el rango de temperatura deseado; esta operación se realiza de forma manual mediante el uso de perillas.

En general, se puede señalar que el funcionamiento del control cubrió los requerimientos previamente establecidos en las matrices de decisión; durante el período de 2 meses en que funcionó, realizó su trabajo de encendido y apagado de forma correcta lo que se puede comprobar en las tablas del Capítulo siguiente.

CAPÍTULO VI. RESULTADOS

TABLAS COMPARATIVAS

Corresponde en este Capítulo referirnos a los resultados generados del registro de observaciones realizadas durante el período de tiempo correspondiente a los meses de febrero y marzo de 2011.

Para realizar el análisis se presenta a continuación la tabla del mes de Febrero correspondiente a temperaturas registradas en 12 momentos diferentes, cada 2 horas, dividiéndolas en 6 registros para la noche (lado izquierdo) y 6 para el día (lado derecho de la tabla).

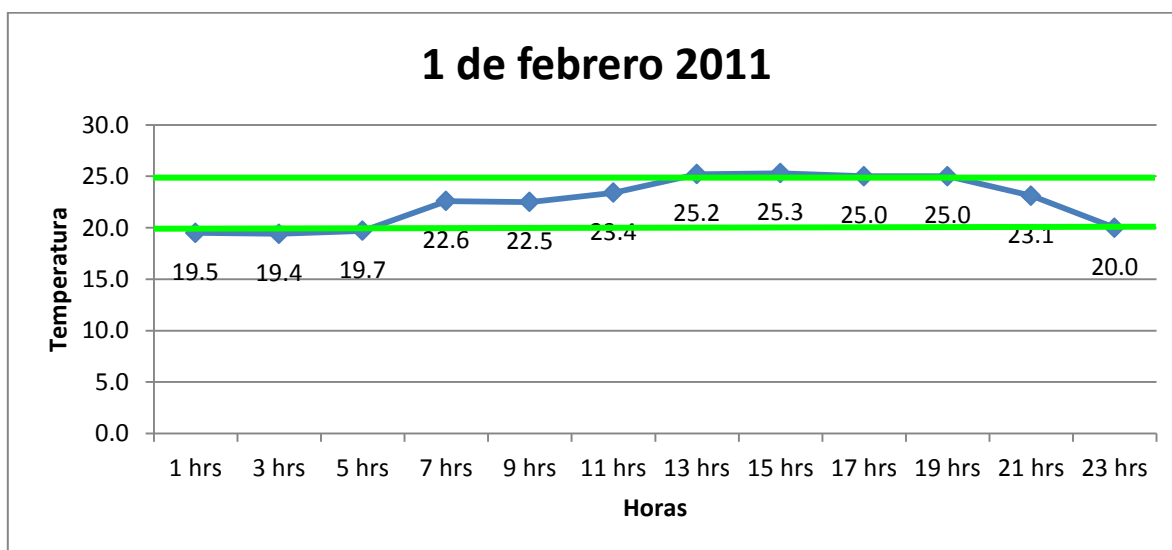
Para la noche se consideraron las 19, 21, 23, 1, 3 y 5 horas y en el día se tomaron en cuenta las 7, 9, 11, 13, 15, 17 horas.

Además hay que agregar que las observaciones se realizaron en los días impares como se indica en la primera columna de esta tabla. Los datos registrados son los siguientes:

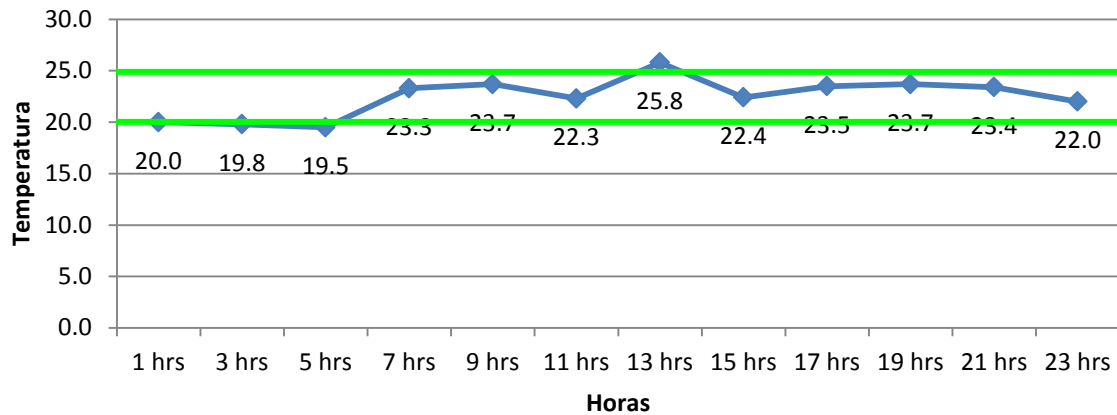
FEBRERO													
DÍA	TEMPERATURA A LA HORA												
	19 hrs	21 hrs	23 hrs	1 hrs	3 hrs	5 hrs	7 hrs	9 hrs	11 hrs	13 hrs	15 hrs	17 hrs	
1	25.0	23.1	20.0	19.5	19.4	19.7	22.6	22.5	23.4	25.2	25.3	25.0	
3	24.0	21.3	21.1	19.5	19.5	19.5	22.0	22.2	22.0	25.9	22.0	23.0	
5	23.7	23.4	22.0	20.0	19.8	19.5	23.3	23.7	22.3	25.8	22.4	23.5	
7	24.2	22.6	21.0	19.6	19.5	19.6	21.9	25.5	23.9	25.2	22.9	24.2	
9	24.3	22.7	21.1	19.8	19.6	19.4	22.0	23.4	23.2	22.2	23.5	24.8	
11	24.1	22.5	19.8	19.6	19.4	19.2	22.4	22.9	24.1	24.3	21.0	23.4	
13	24.2	22.6	20.9	19.7	19.6	19.4	22.7	21.8	24.3	24.7	21.9	23.1	
15	24.2	22.1	20.7	19.5	19.4	19.5	23.0	21.6	21.1	24.4	21.8	23.3	
17	21.9	20.9	21.3	20.6	21.6	20.8	20.5	21.2	25.8	20.7	20.1	24.5	
19	21.2	21.0	19.7	20.8	21.0	19.8	21.2	22.7	22.2	24.6	24.9	21.4	
21	22.7	20.3	19.7	22.4	20.4	22.6	21.0	24.3	24.0	22.7	24.0	22.0	
23	21.1	21.6	19.5	22.1	22.7	22.9	21.9	20.8	20.4	24.8	25.7	25.0	
25	20.4	21.3	21.5	20.0	21.4	22.2	21.7	20.4	23.1	24.0	21.7	20.7	
27	21.7	20.0	21.1	22.0	19.5	19.7	22.5	20.0	23.3	21.4	23.0	24.3	

Tabla 7.1 Variación de temperatura del mes de Febrero de 2011.

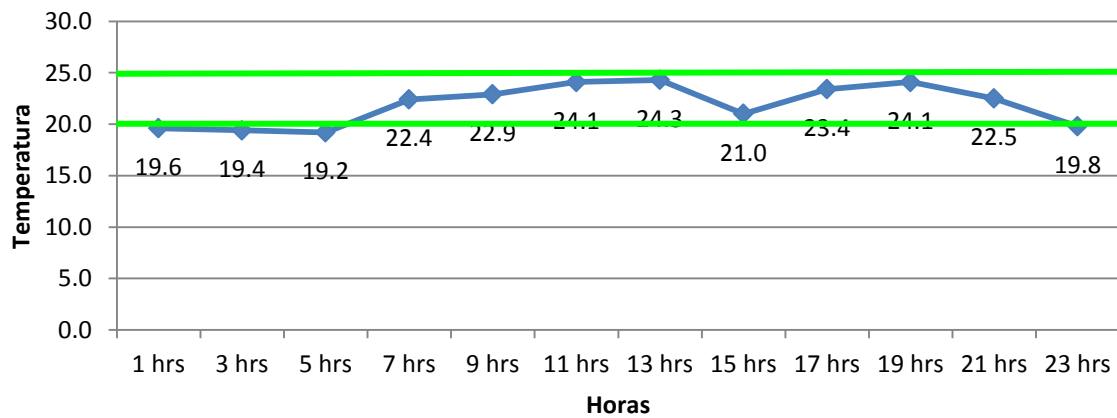
A partir de la información presentada en la tabla anterior se elaboraron las siguientes gráficas seleccionando días al azar con la finalidad de observar que el rango de temperatura asignado se mantuvo correcto.



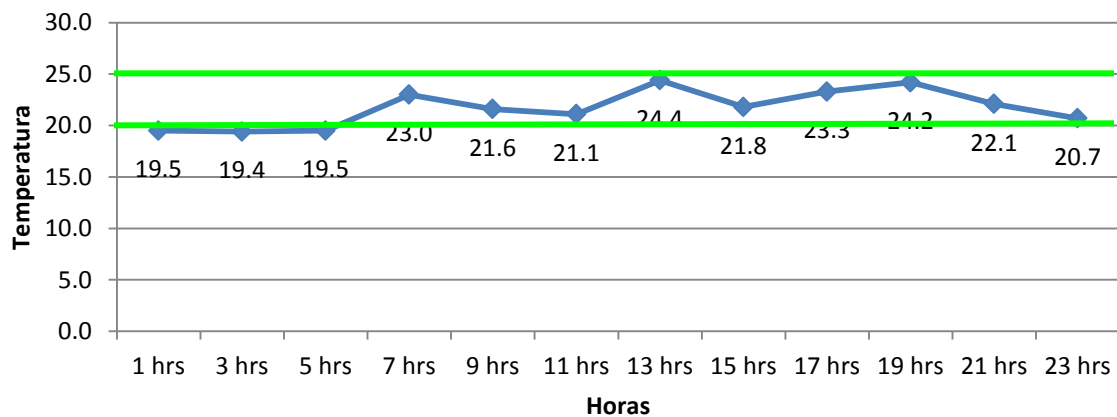
5 de febrero 2011

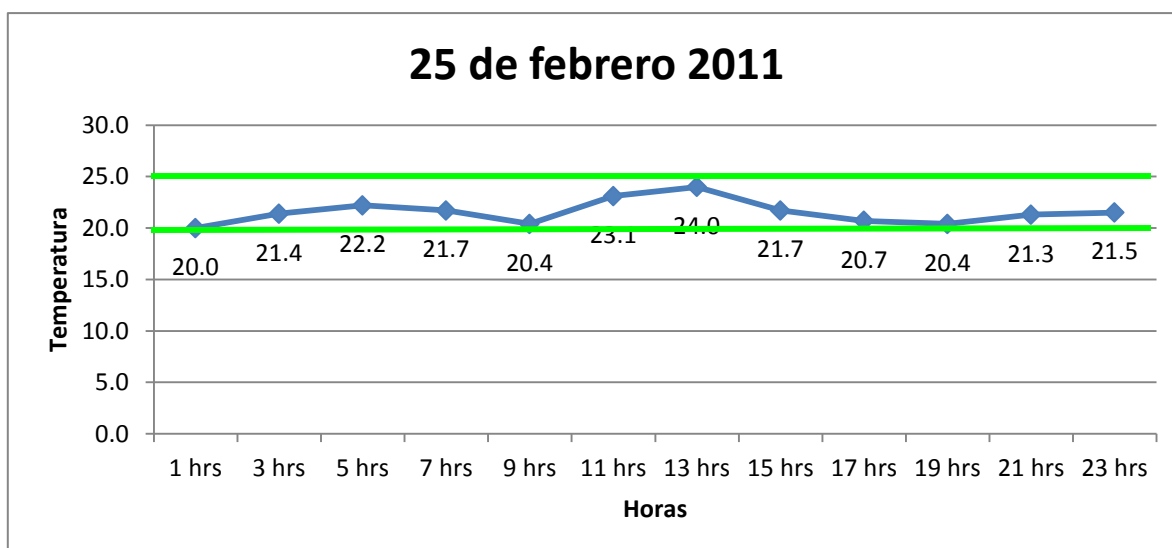
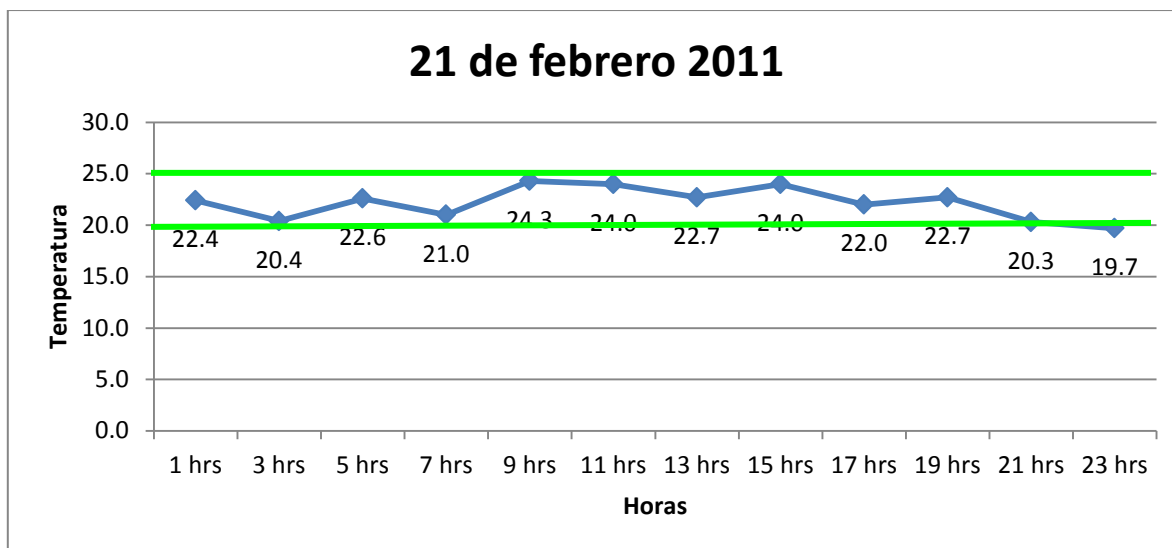


11 de febrero 2011



15 de febrero 2011





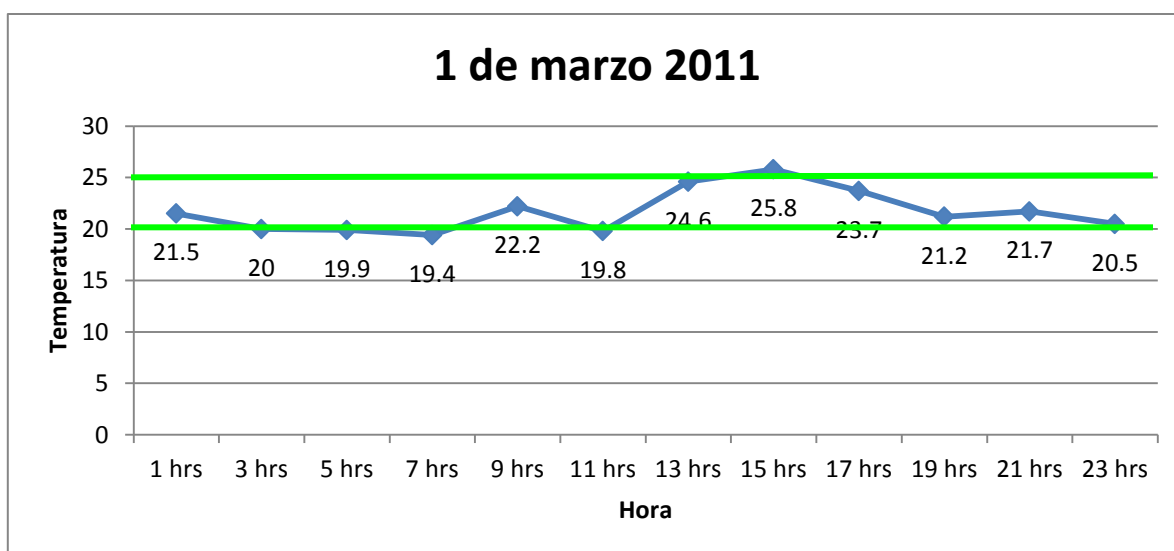
Gráfica 7.1 Temperaturas registradas durante el mes de febrero.

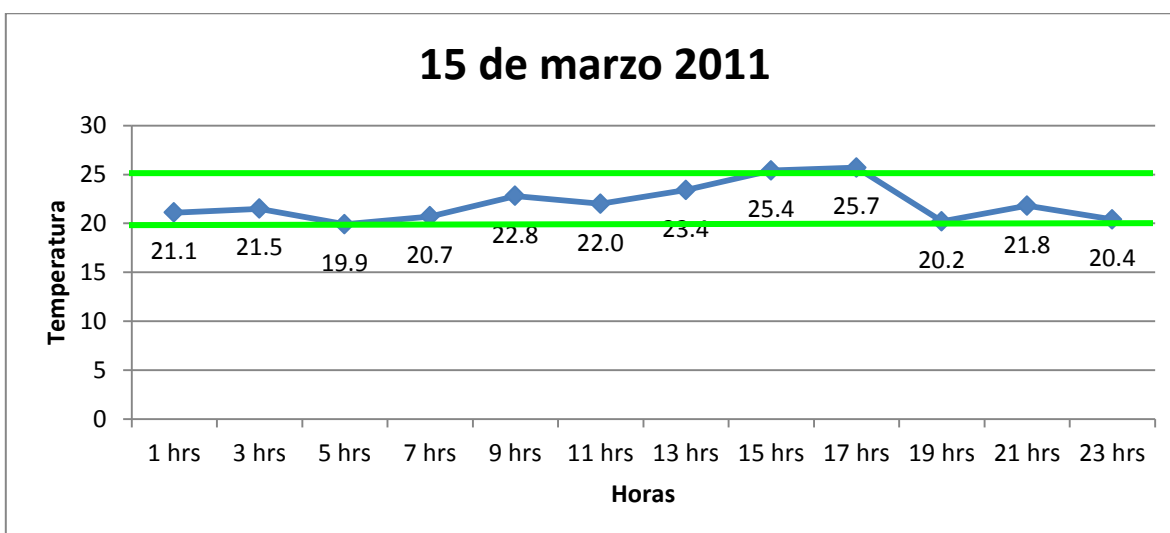
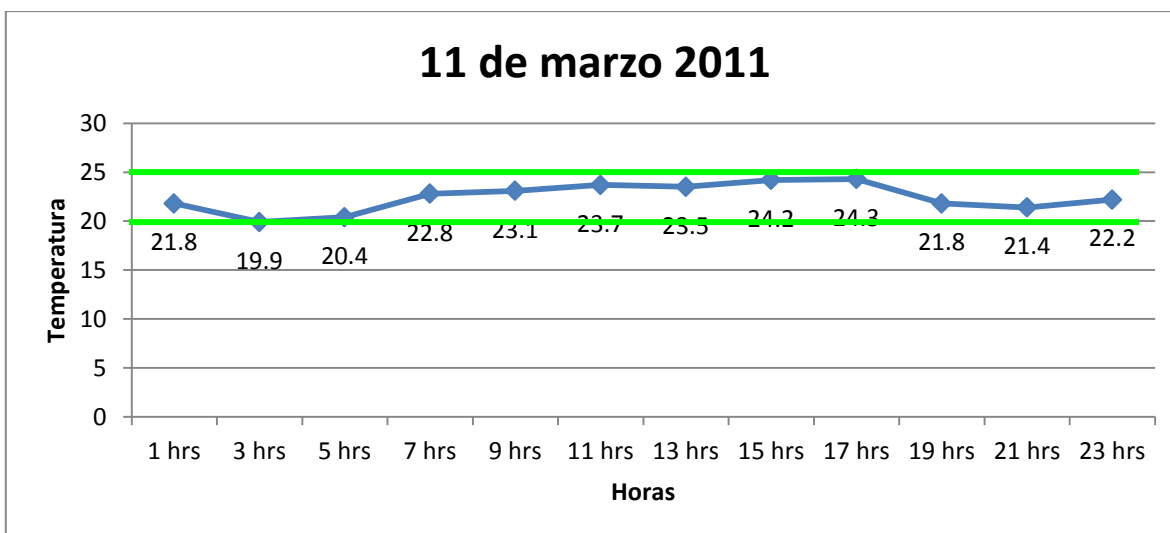
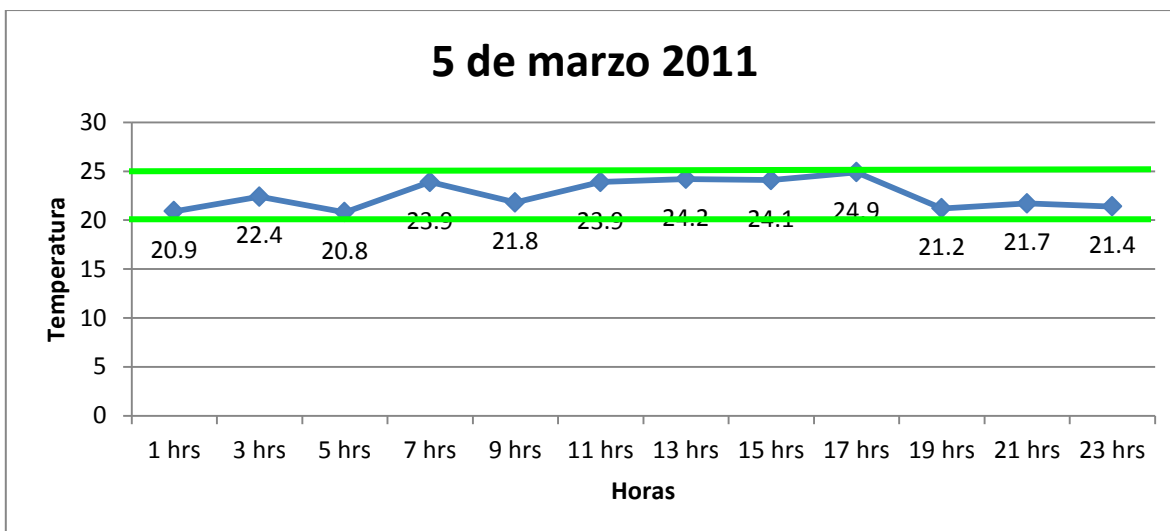
De igual forma se elaboró la tabla de registro de temperaturas para el mes de Marzo, para ello se continuó con la misma metodología que en la que correspondió al mes de Febrero, es decir, días impares y cada dos horas dividiendo los registros en período de noche y de día. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

MARZO													
DÍA	TEMPERATURA A LA HORA												
	19 hrs	21 hrs	23 hrs	1 hrs	3 hrs	5 hrs	7 hrs	9 hrs	11 hrs	13 hrs	15 hrs	17 hrs	
1	21.2	21.7	20.5	21.5	20.0	19.9	19.4	22.2	19.8	24.6	25.8	23.7	
3	20.0	21.7	19.8	20.7	22.2	20.1	21.8	20.6	23.8	21.3	23.9	24.1	
5	21.2	21.7	21.4	20.9	22.4	20.8	23.9	21.8	23.9	24.2	24.1	24.9	
7	22.2	19.9	19.8	21.8	21.2	22.1	21.0	21.1	21.4	23.3	23.6	24.9	
9	22.1	20.6	22.1	21.7	20.3	20.8	20.3	21.0	20.0	26.1	25.7	23.4	
11	21.8	21.4	22.2	21.8	19.9	20.4	22.8	23.1	23.7	23.5	24.2	24.3	
13	20.8	21.1	20.7	20.5	21.0	20.0	20.3	22.7	24.3	24.7	24.8	25.6	
15	20.2	21.8	20.4	21.1	21.5	19.9	20.7	22.8	22.0	23.4	25.4	25.7	

Tabla 7.2 Variación de temperatura de la primera quincena del mes de Marzo de 2011.

A partir de esta tabla se eligieron de forma aleatoria 4 de los 8 días que se registraron en el mes de marzo y con esos datos se diseñaron gráficas para demostrar que la variación de temperatura con el manejo del control construido e implementado en el prototipo de invernadero se mantuvo dentro del rango establecido previamente.





Gráfica 7.2 Temperaturas registradas durante la primera quincena del mes de marzo.

Para constatar que el control realizó el trabajo para el que fue construido de forma satisfactoria y correcta, se diseñó una tabla de temperaturas registradas en el exterior del invernadero.

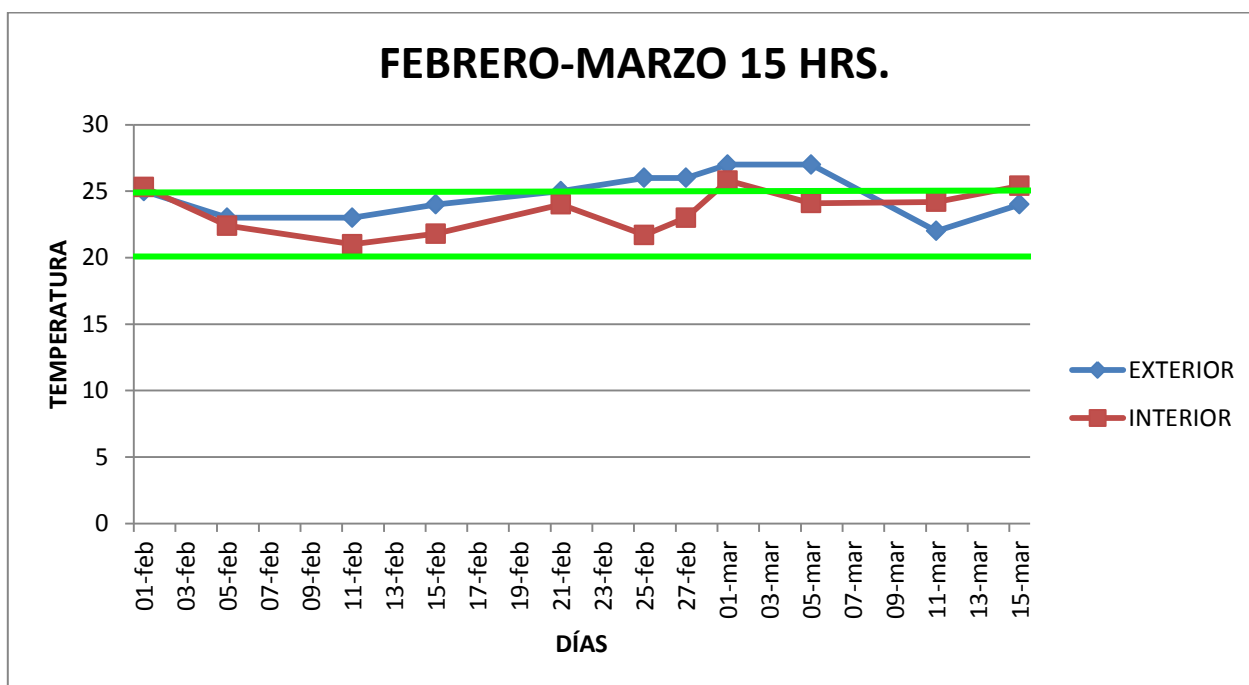
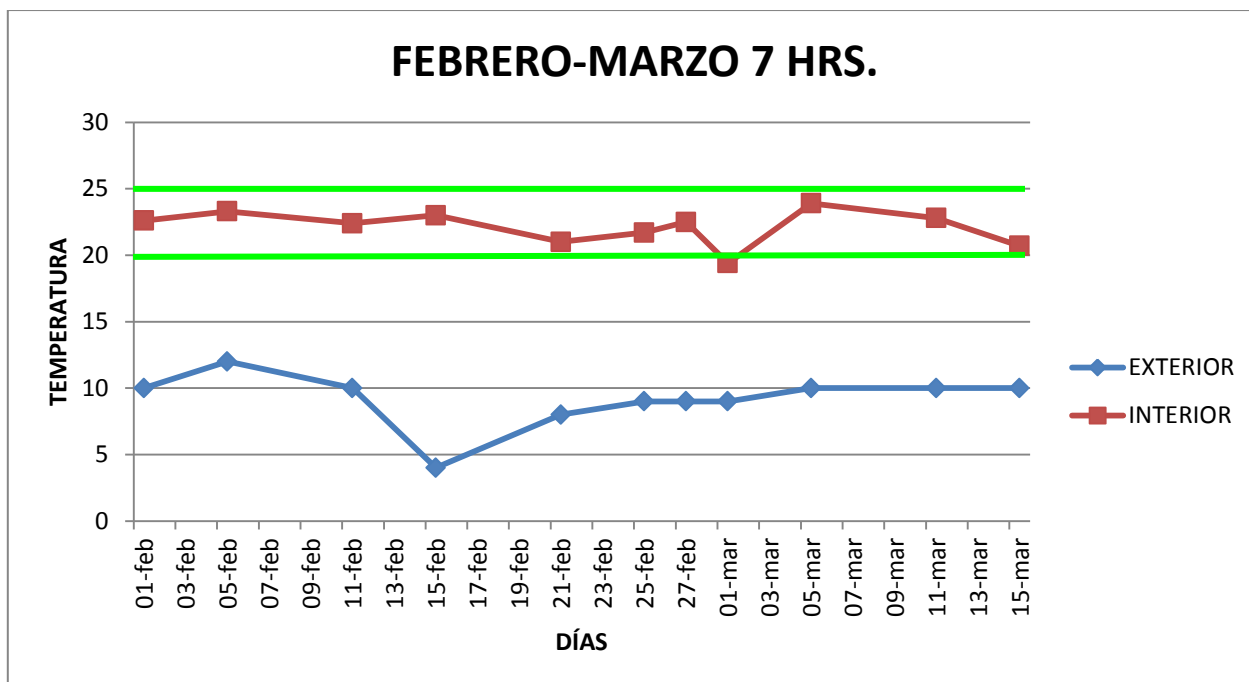
Para ello se consideró la hora en que se registra la temperatura mínima (7 horas) y la temperatura máxima del día (15 horas), las cuales se contrastaron con los datos obtenidos en el interior del prototipo de invernadero.

COMPARATIVO DE TEMPERATURAS EXTERIOR E INTERIOR DEL INVERNADERO									
DÍA	MES FEBRERO					MES MARZO			
	TEMPERATURA					TEMPERATURA			
	EXTERIOR	INTERIOR	EXTERIOR	INTERIOR		EXTERIOR	INTERIOR	EXTERIOR	INTERIOR
	7 hrs.	7 hrs.	15 hrs.	15 hrs.		7 hrs.	7 hrs.	15 hrs.	15 hrs.
1	10.0	22.6	25.0	25.3		9.0	19.4	27.0	25.8
5	12.0	23.3	23.0	22.4		10.0	23.9	27.0	24.1
11	10.0	22.4	23.0	21.0		10.0	22.8	22.0	24.2
15	4.0	23.0	24.0	21.8		10.0	20.7	24.0	25.4
21	8.0	21.0	25.0	24.0					
25	9.0	21.7	26.0	21.7					
27	9.0	22.5	26.0	23.0					

Tabla 7.3 Variación de temperatura (Exterior e Interior) del invernadero.³⁷

A partir de la información citada en la tabla anterior se elaboraron las siguientes gráficas donde se muestra la función del controlador de temperatura al mantener dentro del rango de 20 a 25 °C la temperatura interior, aspecto de mucha importancia para el desarrollo óptimo de un cultivo que se vería afectado si la temperatura no se conserva en el rango establecido.

³⁷ http://smn.cna.gob.mx/smmpt/estadosrm/ciudades/cd_de_mexico.html



Gráfica 7.3 Temperaturas registradas durante la primera quincena del mes de marzo.

Como se muestra en las tablas y gráficas de este Capítulo un control de temperatura es un instrumento muy útil cuando se busca implementar cualquier tipo de cultivo dentro de un invernadero. Se observa que al calibrar la temperatura dentro de un rango óptimo para el

cultivo de jitomate, las condiciones internas del invernadero serán propicias para el desarrollo de las plantas en cada una de sus etapas y esto se verá reflejado en la obtención de más producción, de mejor calidad y con características apropiadas para el consumo nacional y la exportación.

Corresponde ahora sugerir a las personas involucradas en la agricultura la implementación dentro de invernaderos de sistemas de control como el desarrollado en el prototipo descrito a lo largo de este trabajo y puesto a funcionar con éxito.

Con el fin de confirmar que el control de temperatura fue eficaz en su uso tanto en temperaturas cálidas como frías, a continuación se muestran fotografías de las plantas en fase última de desarrollo, es decir, cuando el producto está empezando a desarrollarse.



Fig. 7.1 Plantas de jitomate con fruto en desarrollo.

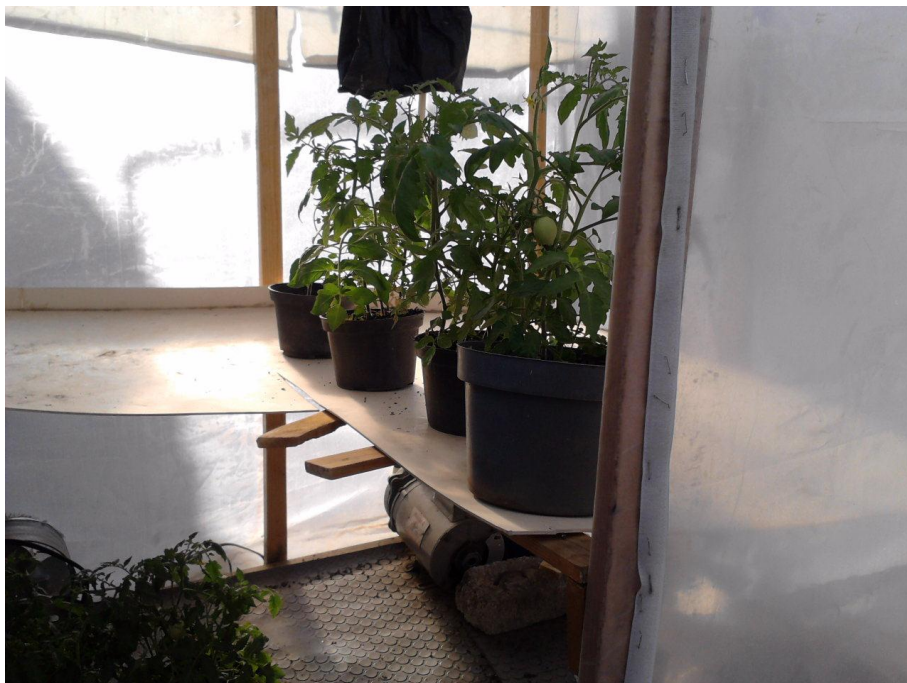


Fig. 7.2 Plantas de jitomate y vista de la bomba de agua.

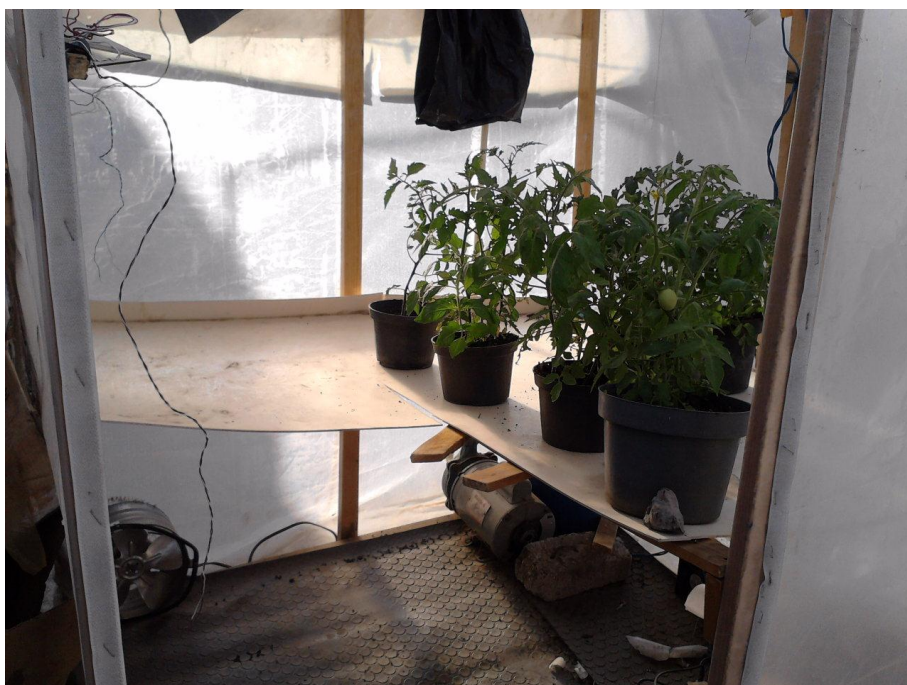


Fig. 7.3 Vista de la ubicación de la bomba de agua y uno de los ventiladores (inyector de aire) así como las plantas de jitomate en desarrollo.

CONCLUSIONES

TEÓRICAS

En nuestro país la agricultura se ha basado en cultivo a cielo abierto donde el empleo de tecnología es mínimo por lo que las cosechas se ven afectadas en gran parte por múltiples agentes externos. La gran mayoría de los cultivos donde se aplica tecnología se destinan a las exportaciones, principalmente hacia Estados Unidos de América.

El cultivo de jitomate tiene excelentes expectativas ya que su demanda se incrementa día con día tanto a nivel nacional como internacional, además posee una magnífica capacidad de transformación en la industria y altos valores nutritivos por lo que se deberían destinar más recursos al desarrollo de esta hortaliza en invernaderos que garanticen una producción de calidad y constante a lo largo del año.

En la agricultura del futuro se deben tomar en cuenta aspectos sociales y científicos. Referente a lo social debe enfocarse a la creación de empleos, permitir la competencia. En

la cuestión científica debe favorecer la aplicación de tecnologías accesibles a los agricultores.

En la actualidad la tecnología de invernaderos ha permitido que se les considere no sólo como una cubierta protectora, sino como una “fábrica” de plantas y hortalizas.

PRÁCTICAS

El uso de un control nos permite, a través de un sensor, leer y modificar una variable física para poder llevarla a valores o rangos preestablecidos y que, conjuntamente se obtenga el beneficio buscado.

Una de las ventajas de manejar un control adecuado dentro de un invernadero es que el producto final obtenido gozará de características ideales y que son requeridas dentro del consumo humano.

Para obtener una óptima regulación de las variables climáticas dentro de un invernadero se utilizan sensores y equipos controladores que deberán elegirse y ubicarse en los lugares correctos para que su acción sea satisfactoria.

Cuando se maneja un invernadero constituido por grandes masas de aire se sugiere implementar un control on/off que es accesible, de uso sencillo, práctico y versátil.

El resultado de construir un prototipo permite verificar que los actuadores adaptados funcionen adecuadamente en conjunto; ya que en la práctica pueden acarrear problemas que no fueron contemplados en un principio y que pudieran ocasionar fallas en el control desarrollado.

El registro de datos de temperatura interior y exterior nos permitió comprobar el correcto funcionamiento del control de temperatura desarrollado en este proyecto.

La utilización de amplificadores operacionales tiene una aplicación muy amplia debido a que son fáciles de emplear siguiendo las respectivas hojas de referencia dependiendo el modelo, no requieren programación alguna y por ser un dispositivo electrónico su vida útil es amplia.

El control de temperatura logró cumplir casi en su totalidad con mantener la temperatura en el rango deseado aunque existieron picos en alto y bajo de temperaturas los cuales pueden ser despreciables para el fin de este control.

Los posibles factores que provocaron valores fuera de rango pueden ser alteraciones no contempladas en un inicio tales como perturbaciones o movimientos generados por fuertes vientos y precipitaciones abundantes que impactaban en los plásticos de cubierta del invernadero. De igual manera el uso de cables de un calibre incorrecto provocaba que la corriente eléctrica (watts) demandada por los actuadores quemara el material de cubierta (aislantes) y por ende generara cortos. También pueden presentarse fallas debidas, por una parte, a que los elementos eléctricos empleados llegan a tener pérdida de corriente o bien, por otra, a que la corriente que llega al siguiente dispositivo es baja lo que motiva que no sea activado en el momento requerido.

La automatización de invernaderos aumenta la productividad de los cultivos e impulsa la competitividad de los mismos. Así se convierten en una herramienta para favorecer la economía de nuestro país sin descartar que lo importante sea el bienestar del ser humano y no sólo el aumento de la producción.

El empleo de invernaderos es una opción viable para aplicarse al campo mexicano, si se invierte tanto en tecnología como en la preparación de profesionistas que desarrollarán tecnologías adecuadas y a costos accesibles para su implementación, entonces la agricultura en México tendrá una nueva visión a futuro.

ANEXOS

ESPECIFICACIONES FINALES

Hojas de referencia del sensor de temperatura LM35



December 1994

LM35/LM35A/LM35C/LM35CA/LM35D

Precision Centigrade Temperature Sensors

General Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in °Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of $\pm 1/4^\circ\text{C}$ at room temperature and $\pm 3/4^\circ\text{C}$ over a full -55 to $+150^\circ\text{C}$ temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only $60\ \mu\text{A}$ from its supply, it has very low self-heating, less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a -55° to $+150^\circ\text{C}$ temperature range, while the LM35C is rated for a -40° to $+110^\circ\text{C}$ range (-10° with improved accuracy). The LM35 series is

available packaged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-202 package.

Features

- Calibrated directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear $+10.0\ \text{mV}/^\circ\text{C}$ scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteeable (at $+25^\circ\text{C}$)
- Rated for full -55° to $+150^\circ\text{C}$ range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than $60\ \mu\text{A}$ current drain
- Low self-heating, 0.08°C in still air
- Nonlinearity only $\pm 1/4^\circ\text{C}$ typical
- Low impedance output, $0.1\ \Omega$ for $1\ \text{mA}$ load

Connection Diagrams

TO-46
Metal Can Package*



BOTTOM VIEW

TL/H/5518-1

*Case is connected to negative pin (GND)

Order Number LM35H, LM35AH, LM35CH, LM35CAH or LM35DH
See NS Package Number H03H

TO-92
Plastic Package

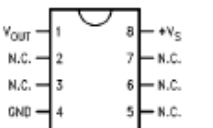


BOTTOM VIEW

TL/H/5518-2

Order Number LM35CZ, LM35CAZ or LM35DZ
See NS Package Number Z03A

SO-8
Small Outline Molded Package

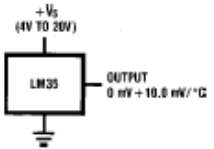


Top View

N.C. = No Connection

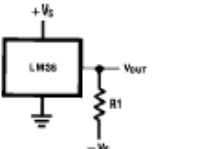
Order Number LM35DM
See NS Package Number M08A

Typical Applications



TL/H/5518-3

FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor ($+2^\circ\text{C}$ to $+150^\circ\text{C}$)



TL/H/5518-4

Choose $R_1 = -V_S/50\ \mu\text{A}$

$V_{OUT} = +1,500\ \text{mV}$ at $+150^\circ\text{C}$
 $= +250\ \text{mV}$ at $+25^\circ\text{C}$
 $= -550\ \text{mV}$ at -55°C

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

LM35/LM35A/LM35C/LM35CA/LM35D
Precision Centigrade Temperature Sensors

Absolute Maximum Ratings (Note 10)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage	+35V to -0.2V
Output Voltage	+6V to -1.0V
Output Current	10 mA
Storage Temp., TO-46 Package,	-60°C to +180°C
TO-92 Package,	-60°C to +150°C
SO-8 Package,	-65°C to +150°C
TO-202 Package,	-65°C to +150°C

Lead Temp.:

TO-46 Package, (Soldering, 10 seconds)	300°C
TO-92 Package, (Soldering, 10 seconds)	260°C
TO-202 Package, (Soldering, 10 seconds)	+230°C

SO Package (Note 12):

Vapor Phase (60 seconds) 215°C

Infrared (15 seconds) 220°C

ESD Susceptibility (Note 11) 2500V

Specified Operating Temperature Range: T_{MIN} to T_{MAX}

(Note 2)

LM35, LM35A -55°C to +150°C

LM35C, LM35CA -40°C to +110°C

LM35D 0°C to +100°C

Electrical Characteristics (Note 1) (Note 6)

Parameter	Conditions	LM35A			LM35CA			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.2	± 0.5		± 0.2	± 0.5		°C
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	± 0.3			± 0.3		± 1.0	°C
	$T_A = T_{MAX}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		°C
	$T_A = T_{MIN}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4		± 1.5	°C
Nonlinearity (Note 8)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	± 0.18		± 0.35	± 0.15		± 0.3	°C
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	+10.0	+9.9, +10.1		+10.0		+9.9, +10.1	mV/°C
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1 \text{ mA}$	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		mV/mA
	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	± 0.5		± 3.0	± 0.5		± 3.0	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.01	± 0.05		± 0.01	± 0.05		mV/V
	$4V \leq V_S \leq 30V$	± 0.02		± 0.1	± 0.02		± 0.1	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5V, +25^\circ\text{C}$	56	67		56	67		μA
	$V_S = +5V$	105		131	91		114	μA
	$V_S = +30V, +25^\circ\text{C}$	56.2	68		56.2	68		μA
	$V_S = +30V$	105.5		133	91.5		116	μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4V \leq V_S \leq 30V, +25^\circ\text{C}$	0.2	1.0		0.2	1.0		μA
	$4V \leq V_S \leq 30V$	0.5		2.0	0.5		2.0	μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+0.39		+0.5	+0.39		+0.5	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of Figure 1, $I_L = 0$	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	°C
Long Term Stability	$T_J = T_{MAX}$, for 1000 hours	± 0.08			± 0.08			°C

Note 1: Unless otherwise noted, these specifications apply: $-55^\circ\text{C} \leq T_J \leq +150^\circ\text{C}$ for the LM35 and LM35A; $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq +110^\circ\text{C}$ for the LM35C and LM35CA; and $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +100^\circ\text{C}$ for the LM35D. $V_S = +5V$ and $I_{LOAD} = 50 \mu\text{A}$, in the circuit of Figure 2. These specifications also apply from $+2^\circ\text{C}$ to T_{MAX} in the circuit of Figure 1. Specifications in **boldface** apply over the full rated temperature range.

Note 2: Thermal resistance of the TO-46 package is $400^\circ\text{C}/\text{W}$, junction to ambient, and $24^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to case. Thermal resistance of the TO-92 package is $180^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to ambient. Thermal resistance of the small outline molded package is $22^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to ambient. Thermal resistance of the TO-202 package is $85^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to ambient. For additional thermal resistance information see table in the Applications section.

Electrical Characteristics (Note 1) (Note 6) (Continued)

Parameter	Conditions	LM35			LM35C, LM35D			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy, LM35, LM35C (Note 7)	$T_A = +25^{\circ}\text{C}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		$^{\circ}\text{C}$
	$T_A = -10^{\circ}\text{C}$	± 0.5			± 0.5		± 1.5	$^{\circ}\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$	± 0.8	± 1.5		± 0.8		± 1.5	$^{\circ}\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$	± 0.8		± 1.5	± 0.8		± 2.0	$^{\circ}\text{C}$
Accuracy, LM35D (Note 7)	$T_A = +25^{\circ}\text{C}$				± 0.6	± 1.5		$^{\circ}\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$				± 0.9		± 2.0	$^{\circ}\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$				± 0.9		± 2.0	$^{\circ}\text{C}$
Nonlinearity (Note 8)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	± 0.3		± 0.5	± 0.2		± 0.5	$^{\circ}\text{C}$
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	$+ 10.0$	$+ 9.8, + 10.2$		$+ 10.0$		$+ 9.8, + 10.2$	mV/ $^{\circ}\text{C}$
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1 \text{ mA}$	$T_A = +25^{\circ}\text{C}$	± 0.4	± 2.0		± 0.4	± 2.0		mV/mA
	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	± 0.5		± 5.0	± 0.5		± 5.0	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^{\circ}\text{C}$	± 0.01	± 0.1		± 0.01	± 0.1		mV/V
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	± 0.02		± 0.2	± 0.02		± 0.2	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5\text{V}, +25^{\circ}\text{C}$	56	80		56	80		μA
	$V_S = +5\text{V}$	105		158	91		138	μA
	$V_S = +30\text{V}, +25^{\circ}\text{C}$	56.2	82		56.2	82		μA
	$V_S = +30\text{V}$	105.5		161	91.5		141	μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}, +25^{\circ}\text{C}$	0.2	2.0		0.2	2.0		μA
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	0.5		3.0	0.5		3.0	μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		$+ 0.39$		$+ 0.7$	$+ 0.39$		$+ 0.7$	$\mu\text{A}/^{\circ}\text{C}$
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of Figure 1, $I_L = 0$	$+ 1.5$		$+ 2.0$	$+ 1.5$		$+ 2.0$	$^{\circ}\text{C}$
Long Term Stability	$T_J = T_{\text{MAX}}$, for 1000 hours	± 0.08			± 0.08			$^{\circ}\text{C}$

Note 3: Regulation is measured at constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output due to heating effects can be computed by multiplying the internal dissipation by the thermal resistance.

Note 4: Tested Limits are guaranteed and 100% tested in production.

Note 5: Design Limits are guaranteed (but not 100% production tested) over the indicated temperature and supply voltage ranges. These limits are not used to calculate outgoing quality levels.

Note 6: Specifications in **boldface** apply over the full rated temperature range.

Note 7: Accuracy is defined as the error between the output voltage and $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ times the device's case temperature, at specified conditions of voltage, current, and temperature (expressed in $^{\circ}\text{C}$).

Note 8: Nonlinearity is defined as the deviation of the output-voltage-versus-temperature curve from the best-fit straight line, over the device's rated temperature range.

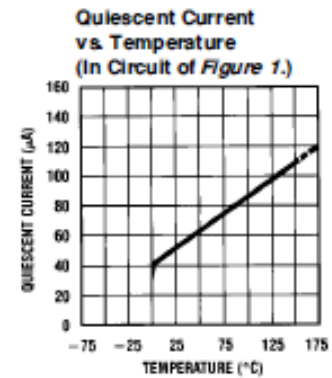
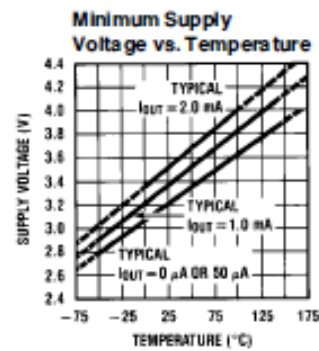
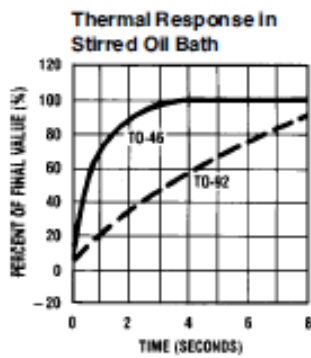
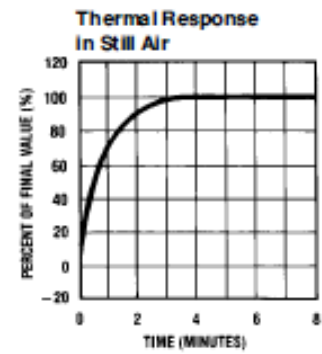
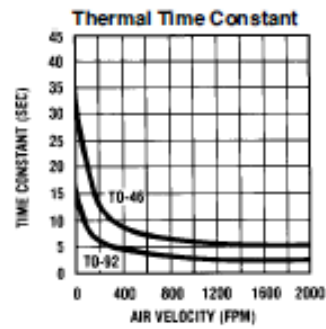
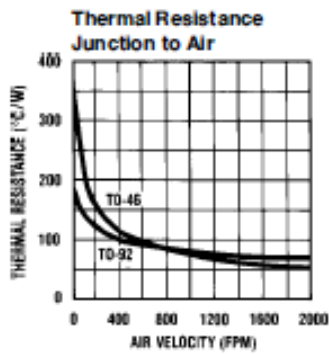
Note 9: Quiescent current is defined in the circuit of Figure 1.

Note 10: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its rated operating conditions. See Note 1.

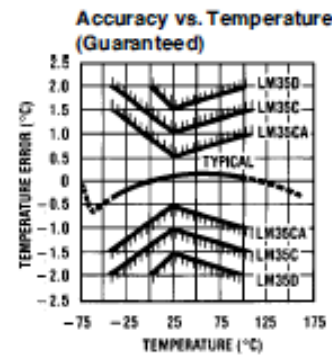
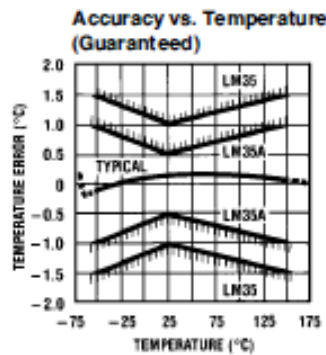
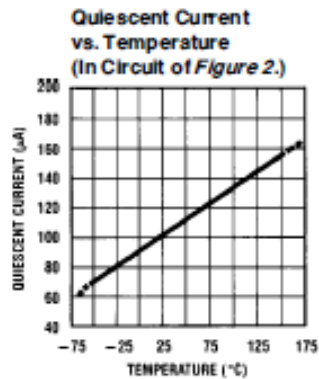
Note 11: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k Ω resistor.

Note 12: See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" or the section titled "Surface Mount" found in a current National Semiconductor Linear Data Book for other methods of soldering surface mount devices.

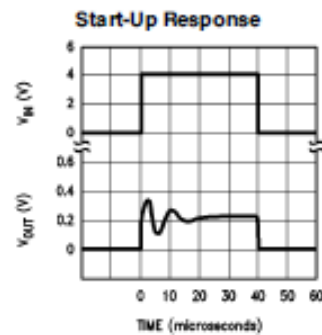
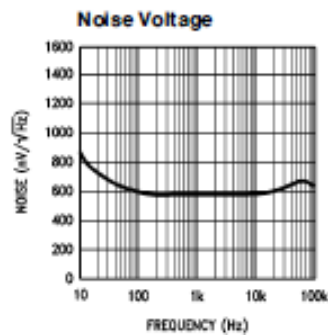
Typical Performance Characteristics



TL/H/5518-17



TV/HV5518-18



TL/H/5518-22

Applications

The LM35 can be applied easily in the same way as other integrated-circuit temperature sensors. It can be glued or cemented to a surface and its temperature will be within about 0.01°C of the surface temperature.

This presumes that the ambient air temperature is almost the same as the surface temperature; if the air temperature were much higher or lower than the surface temperature, the actual temperature of the LM35 die would be at an intermediate temperature between the surface temperature and the air temperature. This is especially true for the TO-92 plastic package, where the copper leads are the principal thermal path to carry heat into the device, so its temperature might be closer to the air temperature than to the surface temperature.

To minimize this problem, be sure that the wiring to the LM35, as it leaves the device, is held at the same temperature as the surface of interest. The easiest way to do this is to cover up these wires with a bead of epoxy which will insure that the leads and wires are all at the same temperature as the surface, and that the LM35 die's temperature will not be affected by the air temperature.

The TO-46 metal package can also be soldered to a metal surface or pipe without damage. Of course, in that case the V- terminal of the circuit will be grounded to that metal. Alternatively, the LM35 can be mounted inside a sealed-end metal tube, and can then be dipped into a bath or screwed into a threaded hole in a tank. As with any IC, the LM35 and accompanying wiring and circuits must be kept insulated and dry, to avoid leakage and corrosion. This is especially true if the circuit may operate at cold temperatures where condensation can occur. Printed-circuit coatings and varnishes such as Humiseal and epoxy paints or dips are often used to insure that moisture cannot corrode the LM35 or its connections.

These devices are sometimes soldered to a small lightweight heat fin, to decrease the thermal time constant and speed up the response in slowly-moving air. On the other hand, a small thermal mass may be added to the sensor, to give the steadiest reading despite small deviations in the air temperature.

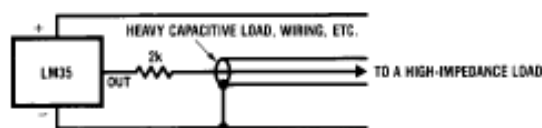
Temperature Rise of LM35 Due To Self-heating (Thermal Resistance)

	TO-46, no heat sink	TO-46, small heat fin*	TO-92, no heat sink	TO-92, small heat fin**	SO-8, no heat sink	SO-8, small heat fin**	TO-202, no heat sink	TO-202 *** small heat fin
Still air	40°C/W	100°C/W	180°C/W	140°C/W	220°C/W	110°C/W	85°C/W	60°C/W
Moving air	10°C/W	40°C/W	90°C/W	70°C/W	105°C/W	90°C/W	25°C/W	40°C/W
Still oil	10°C/W	40°C/W	90°C/W	70°C/W				
Stirred oil	5°C/W	30°C/W	45°C/W	40°C/W				
(Clamped to metal, infinite heat sink)	(24°C/W)				(55°C/W)		(23°C/W)	

* Wakefield type 201, or 1" dia of 0.020" sheet brass, soldered to case, or similar.

** TO-92 and SO-8 packages glued and leads soldered to 1" square of 1/16" printed circuit board with 2 oz. foil or similar.

Typical Applications (Continued)



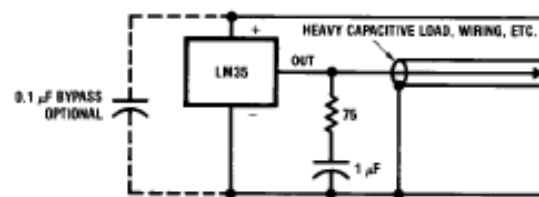
TL/H/5516-19

FIGURE 3. LM35 with Decoupling from Capacitive Load

CAPACITIVE LOADS

Like most micropower circuits, the LM35 has a limited ability to drive heavy capacitive loads. The LM35 by itself is able to drive 50 pf without special precautions. If heavier loads are anticipated, it is easy to isolate or decouple the load with a resistor; see Figure 3. Or you can improve the tolerance of capacitance with a series R-C damper from output to ground; see Figure 4.

When the LM35 is applied with a 200Ω load resistor as shown in Figure 5, 6, or 8, it is relatively immune to wiring



TL/H/5516-20

FIGURE 4. LM35 with R-C Damper

capacitance because the capacitance forms a bypass from ground to input, not on the output. However, as with any linear circuit connected to wires in a hostile environment, its performance can be affected adversely by intense electromagnetic sources such as relays, radio transmitters, motors with arcing brushes, SCR transients, etc., as its wiring can act as a receiving antenna and its internal junctions can act as rectifiers. For best results in such cases, a bypass capacitor from V_{IN} to ground and a series R-C damper such as 75Ω in series with 0.2 or 1 μF from output to ground are often useful. These are shown in Figures 13, 14, and 16.

Typical Applications (Continued)

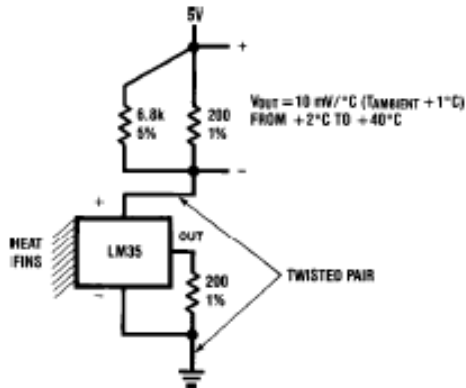


FIGURE 5. Two-Wire Remote Temperature Sensor (Grounded Sensor)

TL/HV518-5

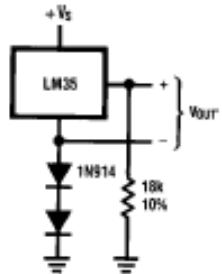


FIGURE 7. Temperature Sensor, Single Supply, -55° to $+150^{\circ}\text{C}$

TL/H/5518-7

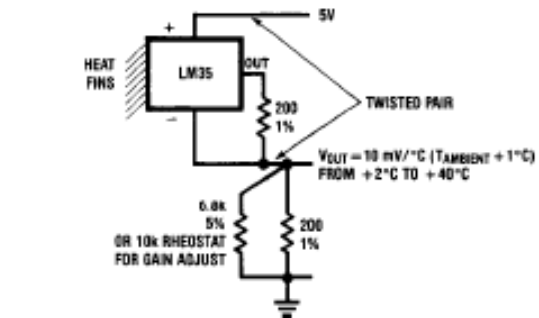


FIGURE 6. Two-Wire Remote Temperature Sensor (Output Referred to Ground)

TL/H/5518-8

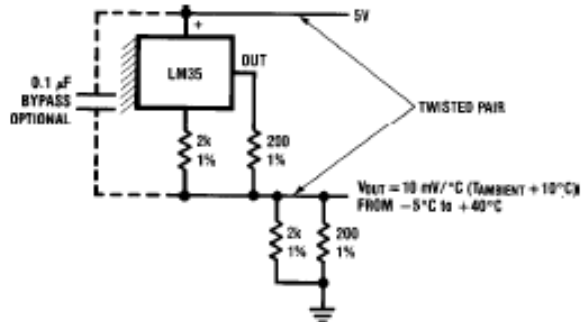


FIGURE 8. Two-Wire Remote Temperature Sensor
(Output Referred to Ground)

TL/H/5518-8

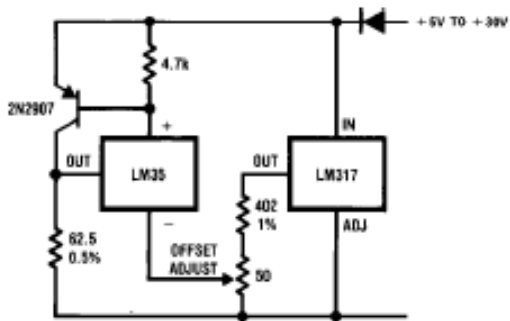


FIGURE 9. 4-To-20 mA Current Source (0°C to +100°C)

TL/HV518-0

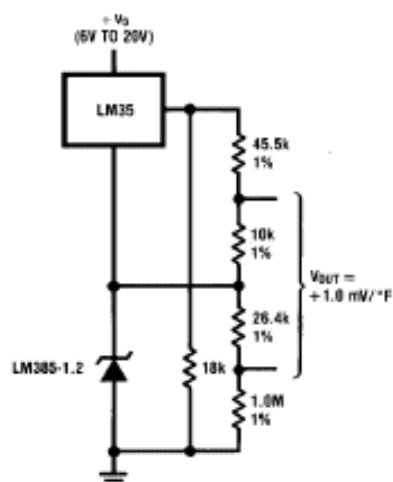
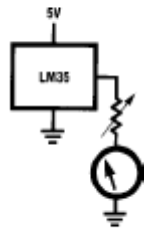


FIGURE 10. Fahrenheit Thermometer

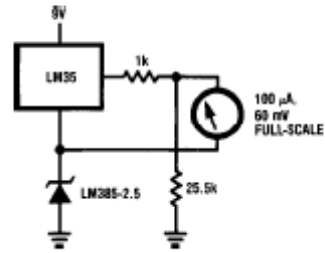
TL/HV5518-10

Typical Applications (Continued)



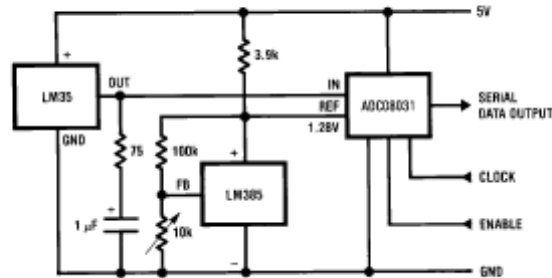
TL/H/5516-11

FIGURE 11. Centigrade Thermometer (Analog Meter)



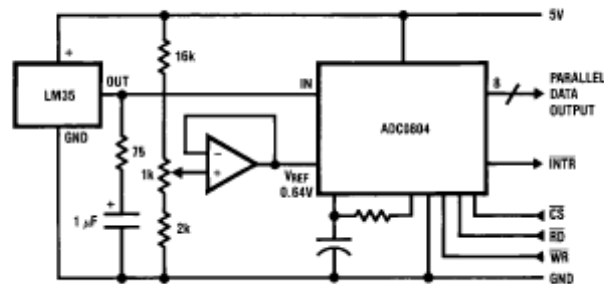
TL/H/5516-12

FIGURE 12. Expanded Scale Thermometer (50° to 80° Fahrenheit, for Example Shown)



TL/H/5516-13

FIGURE 13. Temperature To Digital Converter (Serial Output) (+128°C Full Scale)



TL/H/5516-14

FIGURE 14. Temperature To Digital Converter (Parallel TRI-STATE® Outputs for Standard Data Bus to μ P Interface) (128°C Full Scale)

Anexo 10.1 Datasheet LM35³⁸

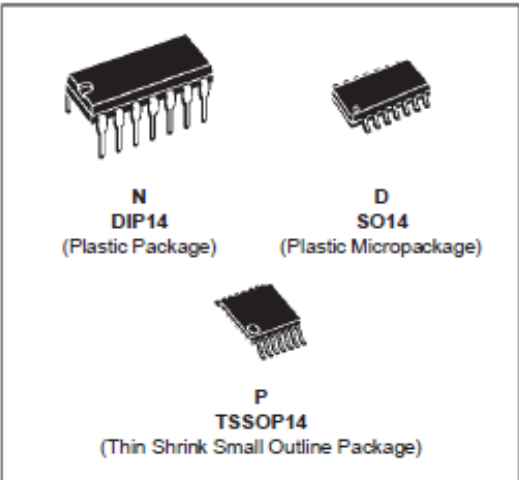
³⁸ <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/nationalsemiconductor/DS005516.PDF>



LM124 LM224 - LM324

LOW POWER QUAD OPERATIONAL AMPLIFIERS

- WIDE GAIN BANDWIDTH : 1.3MHz
- INPUT COMMON-MODE VOLTAGE RANGE INCLUDES GROUND
- LARGE VOLTAGE GAIN : 100dB
- VERY LOW SUPPLY CURRENT/AMPLI : 375 μ A
- LOW INPUT BIAS CURRENT : 20nA
- LOW INPUT OFFSET VOLTAGE : 5mV max.
(for more accurate applications, use the equivalent parts LM124A-LM224A-LM324A which feature 3mV max)
- LOW INPUT OFFSET CURRENT : 2nA
- WIDE POWER SUPPLY RANGE :
SINGLE SUPPLY : +3V TO +30V
DUAL SUPPLIES : ± 1.5 V TO ± 15 V



DESCRIPTION

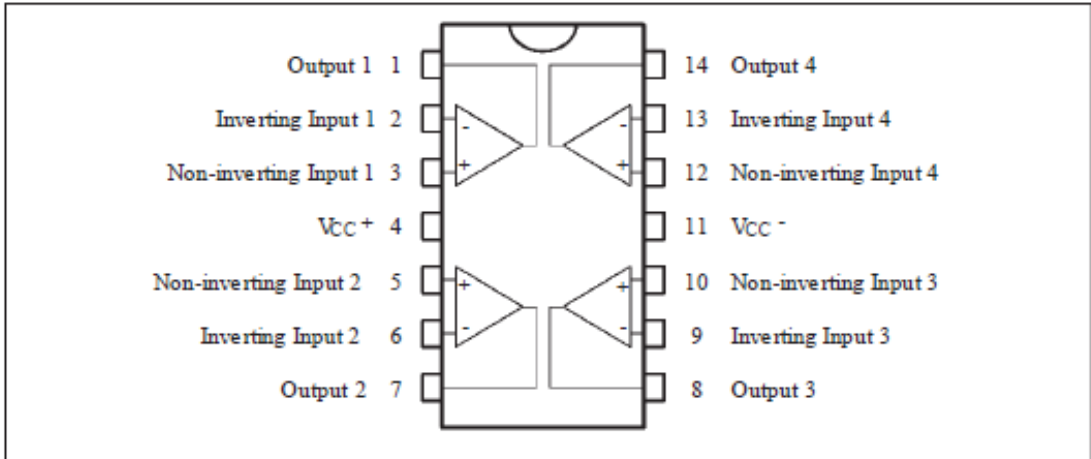
These circuits consist of four independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers. They operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

ORDER CODES

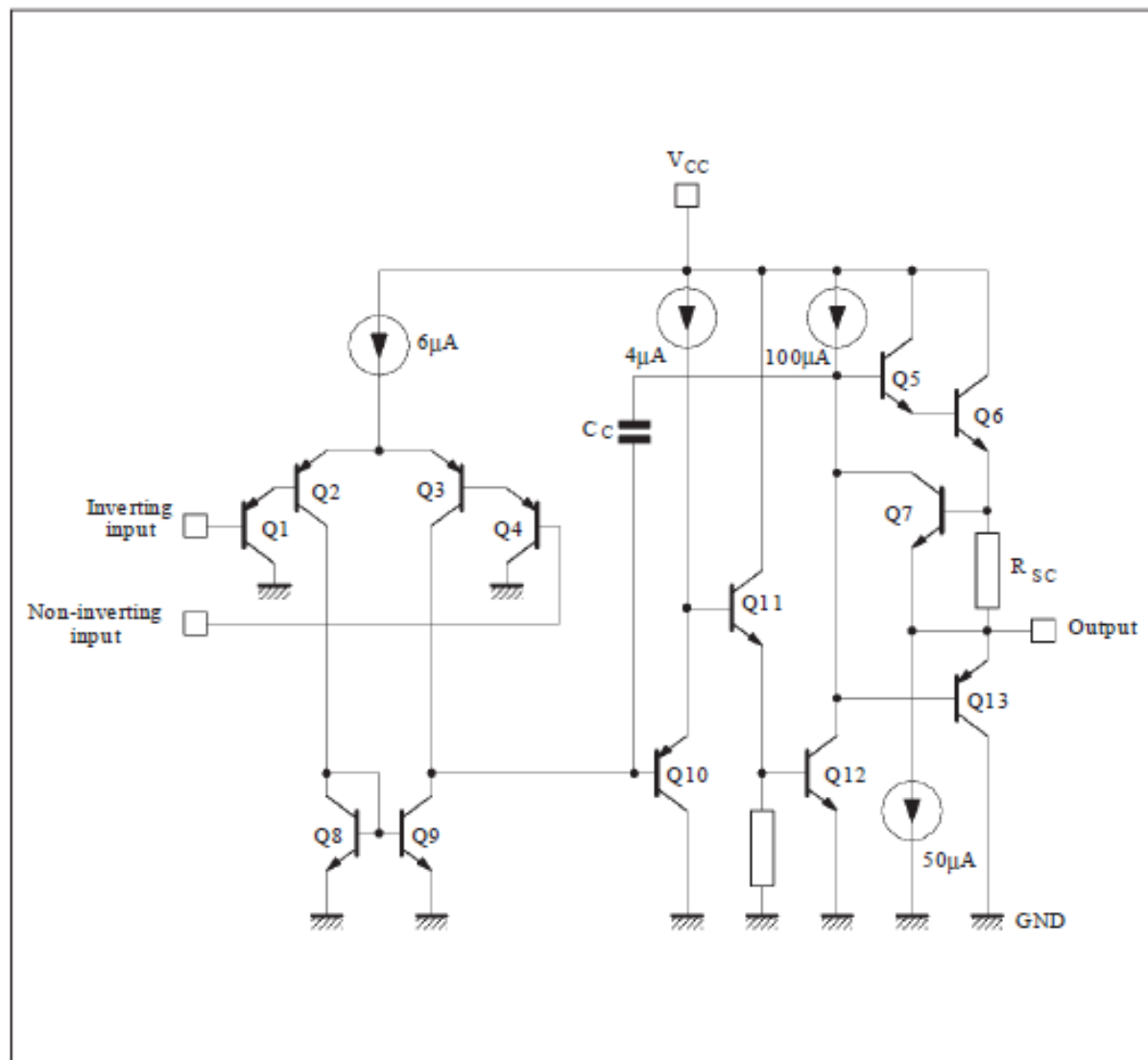
Part Number	Temperature Range	Package		
		N	D	P
LM124	-55°C, +125°C	•	•	•
LM224	-40°C, +105°C	•	•	•
LM324	0°C, +70°C	•	•	•

Example : LM224N

PIN CONNECTIONS (top view)



SCHEMATIC DIAGRAM (1/4 LM124)



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	LM124	LM224	LM324	Unit
V_{CC}	Supply Voltage	± 16 or 32			V
V_i	Input Voltage	-0.3 to +32			V
V_{id}	Differential Input Voltage - (*)	+32	+32	+32	V
P_{tot}	Power Dissipation N Suffix D Suffix	500 -	500 400	500 400	mW mW
-	Output Short-circuit Duration - (note 1)	Infinite			
I_{in}	Input Current - (note 6)	50	50	50	mA
T_{oper}	Operating Free Air Temperature Range	-55 to +125	-40 to +105	0 to +70	$^{\circ}\text{C}$
T_{stg}	Storage Temperature Range	-65 to +150	-65 to +150	-65 to +150	$^{\circ}\text{C}$

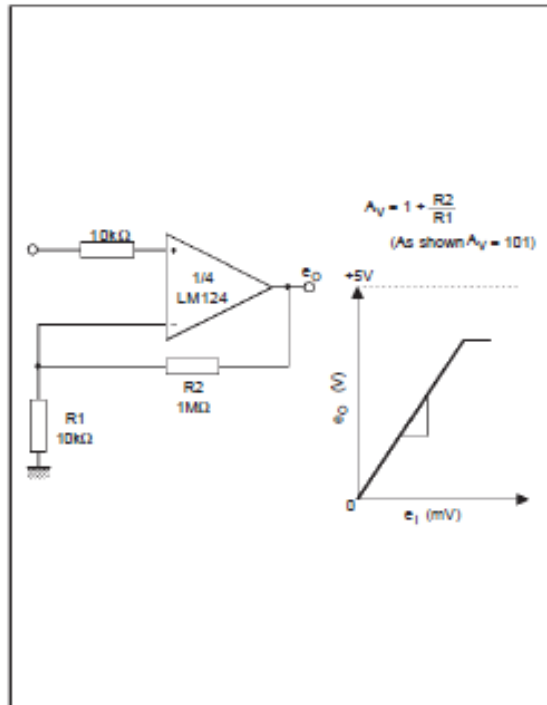
ELECTRICAL CHARACTERISTICS

 $V_{CC}^+ = +5V$, $V_{CC}^- = \text{Ground}$, $V_O = 1.4V$, $T_{amb} = +25^\circ C$ (unless otherwise specified)

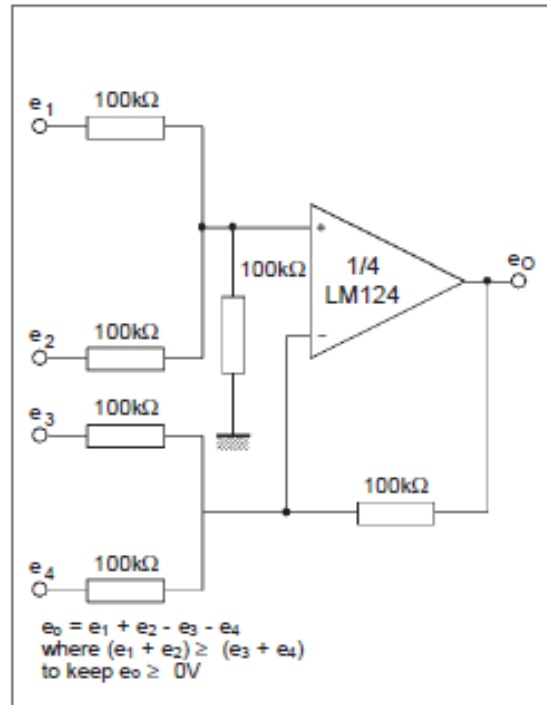
Symbol	Parameter	LM124 - LM224 - LM324			Unit
		Min.	Typ.	Max.	
V_{IO}	Input Offset Voltage (note 3) $T_{amb} = +25^\circ C$ LM324 $T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$ LM324		2	5 7 7 9	mV
I_{IO}	Input Offset Current $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$		2	30 100	nA
I_{IB}	Input Bias Current (note 2) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$		20	150 300	nA
A_{vd}	Large Signal Voltage Gain ($V_{CC}^+ = +15V$, $R_L = 2k\Omega$, $V_O = 1.4V$ to $11.4V$) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$	50 25	100		V/mV
SVR	Supply Voltage Rejection Ratio ($R_S \leq 10k\Omega$) ($V_{CC}^+ = 5V$ to $30V$) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$	65 65	110		dB
I_{CC}	Supply Current, all Amp, no load $T_{amb} = +25^\circ C$ $V_{CC} = +5V$ $V_{CC} = +30V$ $T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$ $V_{CC} = +5V$ $V_{CC} = +30V$		0.7 1.5 0.8 1.5	1.2 3 1.2 3	mA
V_{ICM}	Input Common Mode Voltage Range ($V_{CC} = +30V$) - (note 4) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$	0 0		$V_{CC} - 1.5$ $V_{CC} - 2$	V
CMR	Common-mode Rejection Ratio ($R_S \leq 10k\Omega$) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$	70 60	80		dB
I_{source}	Output Current Source ($V_{id} = +1V$) $V_{CC} = +15V$, $V_O = +2V$	20	40	70	mA
I_{sink}	Output Sink Current ($V_{id} = -1V$) $V_{CC} = +15V$, $V_O = +2V$ $V_{CC} = +15V$, $V_O = +0.2V$	10 12	20 50		mA μA

TYPICAL SINGLE - SUPPLY APPLICATIONS

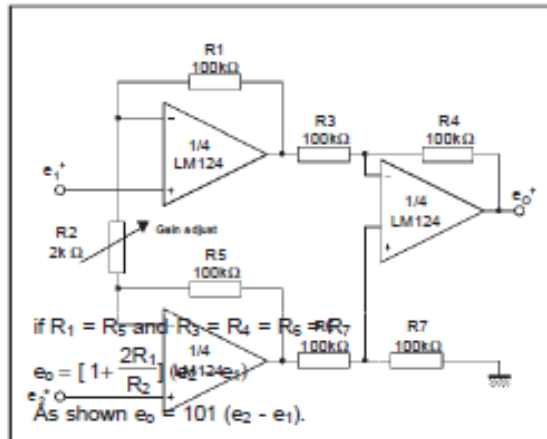
NON-INVERTING DC GAIN



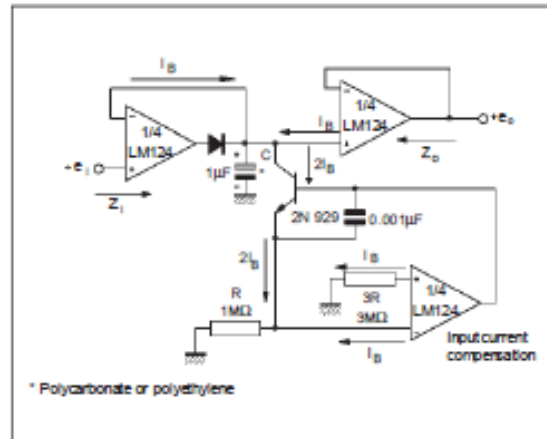
DC SUMMING AMPLIFIER



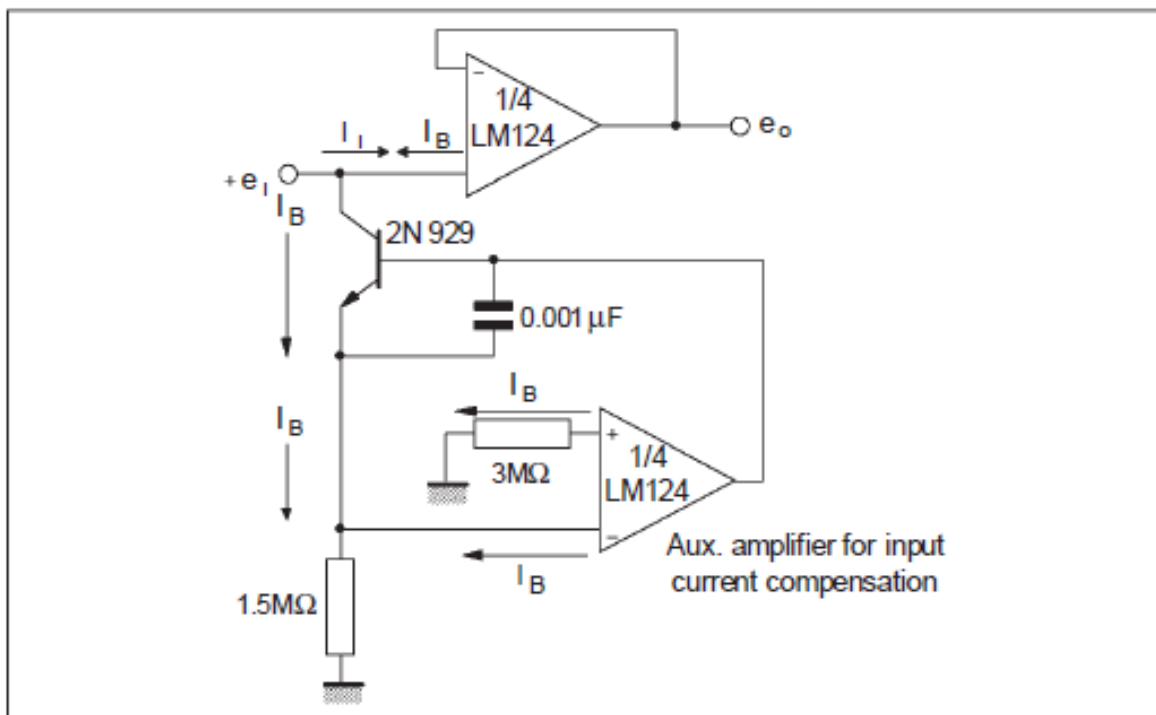
HIGH INPUT Z ADJUSTABLE GAIN DC INSTRUMENTATION AMPLIFIER



LOW DRIFT PEAK DETECTOR



USING SYMMETRICAL AMPLIFIERS TO REDUCE INPUT CURRENT (GENERAL CONCEPT)



- LARGE VOLTAGE GAIN : 100dB
- VERY LOW SUPPLY CURRENT/AMPLI : 375µA
- LOW INPUT BIAS CURRENT : 20nA
- LOW INPUT OFFSET VOLTAGE : 2mV
- LOW INPUT OFFSET CURRENT : 2nA
- WIDE POWER SUPPLY RANGE :
SINGLE SUPPLY : +3V to +30V
DUAL SUPPLIES : ±1.5V to ±15V

Applies to : LM124-LM224-LM324

** Standard Linear Ics Macromodels, 1993.

** CONNECTIONS :

- * 1 INVERTING INPUT
- * 2 NON-INVERTING INPUT
- * 3 OUTPUT
- * 4 POSITIVE POWER SUPPLY
- * 5 NEGATIVE POWER SUPPLY

.SUBCKT LM124 1 3 2 4 5 (analog)

.MODEL MDTH D IS=1E-8 KF=3.104131E-15
CJO=10F

* INPUT STAGE

CIP 2 5 1.000000E-12

CIN 1 5 1.000000E-12

EIP 10 5 2 5 1

EIN 16 5 1 5 1

RIP 10 11 2.600000E+01

RIN 15 16 2.600000E+01

RIS 11 15 2.003862E+02

DIP 11 12 MDTH 400E-12

DIN 15 14 MDTH 400E-12

VOFP 12 13 DC 0

VOFN 13 14 DC 0

IPOL 13 5 1.000000E-05

CPS 11 15 3.783376E-09

DINN 17 13 MDTH 400E-12

VIN 17 5 0.000000E+00

DINR 15 18 MDTH 400E-12

VIP 4 18 2.000000E+00

FCP 4 5 VOFP 3.400000E+01

FCN 5 4 VOFN 3.400000E+01

FIBP 2 5 VOFN 2.000000E-03

FIBN 5 1 VOFP 2.000000E-03

* AMPLIFYING STAGE

FIP 5 19 VOFP 3.600000E+02

FIN 5 19 VOFN 3.600000E+02

RG1 19 5 3.652997E+06

RG2 19 4 3.652997E+06

CC 19 5 6.000000E-09

DOPM 19 22 MDTH 400E-12

DONM 21 19 MDTH 400E-12

HOPM 22 28 VOUT 7.500000E+03

VIPM 28 4 1.500000E+02

HONM 21 27 VOUT 7.500000E+03

VINM 5 27 1.500000E+02

EOUT 26 23 19 5 1

VOUT 23 5 0

ROUT 26 3 20

COUT 3 5 1.000000E-12

DOP 19 25 MDTH 400E-12

VOP 4 25 2.242230E+00

DON 24 19 MDTH 400E-12

VON 24 5 7.922301E-01

.ENDS

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

$V_{CC}^+ = +5V$, $V_{CC}^- = 0V$, $T_{amb} = 25^\circ C$ (unless otherwise specified)

Symbol	Conditions	Value	Unit
V_{io}		0	mV
A_{vd}	$R_L = 2k\Omega$	100	V/mV
I_{cc}	No load, per operator	350	µA
V_{icm}		-15 to +13.5	V
V_{OH}	$R_L = 2k\Omega$ ($V_{CC}^+ = 15V$)	+13.5	V
V_{OL}	$R_L = 10k\Omega$	5	mV
I_{os}	$V_O = +2V$, $V_{CC} = +15V$	+40	mA
GBP	$R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$	1.3	MHz
SR	$R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$	0.4	V/µs

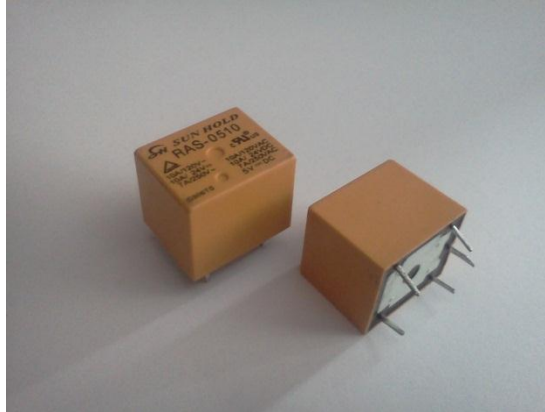


Anexo 10.2 Datasheet LM324.³⁹

³⁹ http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/L/M/3/2/LM324.shtml

Referencias para el relevador RAS-0510

Relevador compacto de 1 polo, 2 tiros (SPDT) y bobina de 5 Vcc.



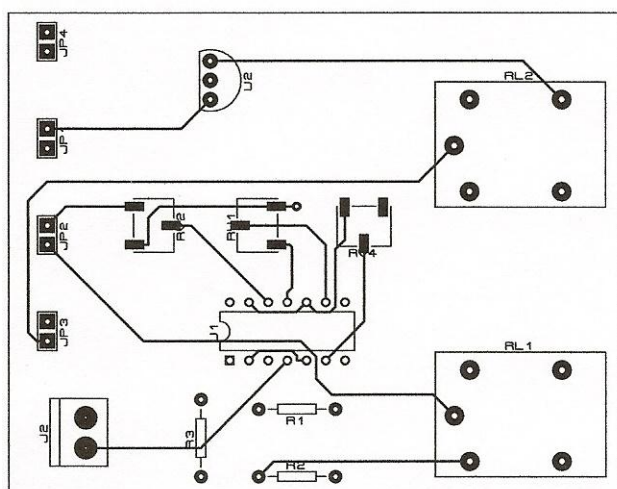
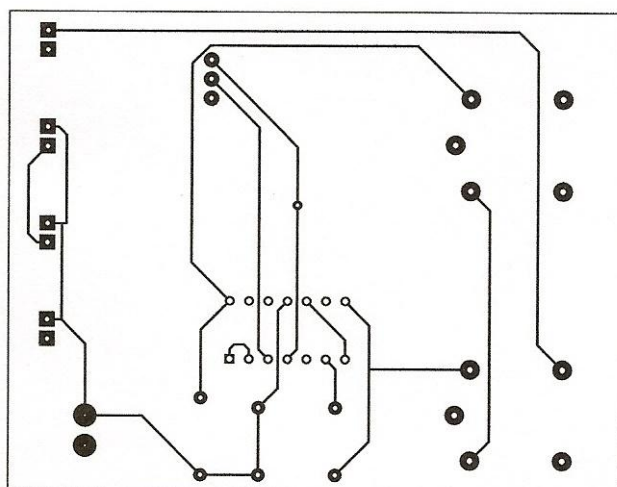
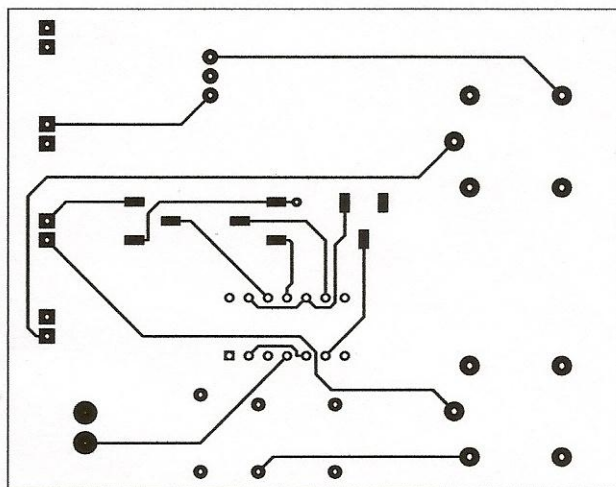
Anexo 10.3 Relevadores RAS-0510.

Contactos de aleación de plata:

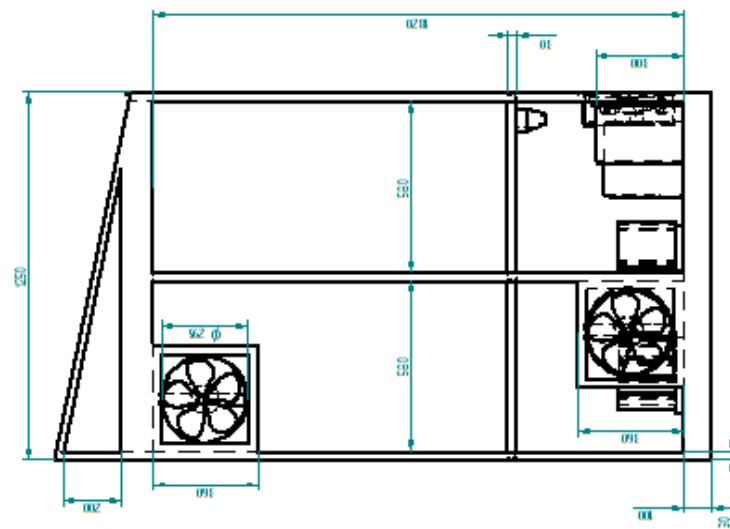
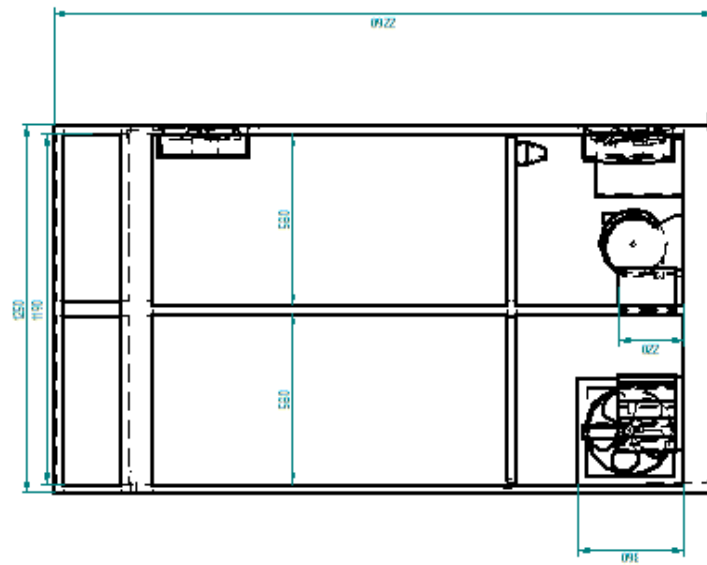
- 24 Vcc / 10 A
- 120 Vca / 10 A
- 250 Vca / 7 A
- Terminales de aguja.
- Dimensiones: 19,2 x 14,8 x 15,2 mm.
- Fabricado en plástico sellado con resina epóxica.⁴⁰

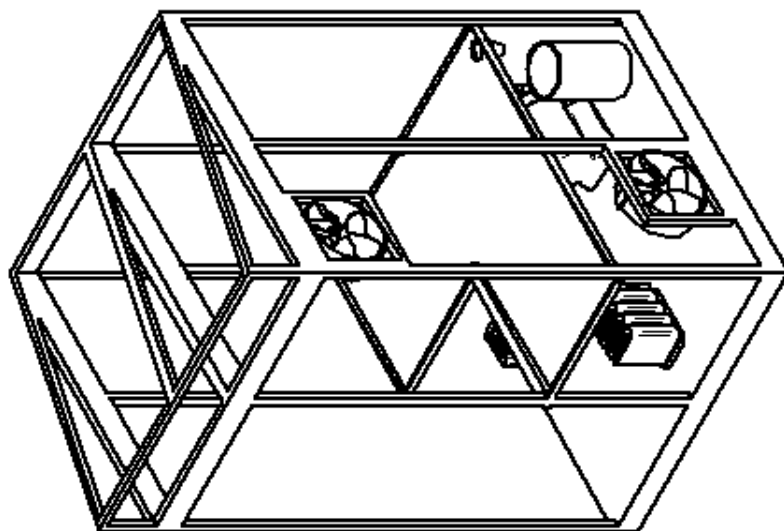
⁴⁰ <http://steren.com.mx/relevadores/interior3.asp?pdto=RAS-0510>

Pistas generadas por el módulo ARES del control.



Anexo 10.4 Pistas del controlador.

[illegible]

[illegible]

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS DE TEXTO

ALLEN, Richard G., PEREIRA Luis S., RAES, Dirk, SMITH Martin, (2006), *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*, Cuadernillo técnico de la FAO, No. 56, México

AYALA, Álvaro, (2003), *Normas de dibujo. Laboratorio de Ingeniería Mecánica Asistido por Computadora*, Facultad de Ingeniería, UNAM, México

BOLTON, William, (2001), *Mecatrónica: Sistemas de Control Electrónico en Ingeniería Mecánica y Eléctrica*, Tomos I, II, Ed. Alfaomega, México

-----, (2010), *Mecatrónica*, 4ª edición, Ed. Alfaomega, México

BOYLESTAD, R., NASHELSKY, L., (2003), *Electrónica: teoría de circuitos y dispositivos electrónicos*, Ed. Pearson Education, México

COUGHLIN, R., F., DRISCOLL, F., F. (1999), *Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales*, Ed. Prentice Hall, México

-----, (1987), *Circuitos Integrados Lineales y amplificadores Operacionales*, Ed. Prentice-Hall, México

DIAZ, Rafael, (2004), Probar que se puede maximizar la utilización del invernadero en la siembra de jitomate, tomando para estudio el invernadero "Back to Basics" ubicado en la ciudad de Tehuacán, Tesis para obtener el grado de Maestría en Administración de la Manufactura, Escuela de Ingeniería, Universidad de las Américas, Puebla, México

DOMÍNGUEZ, Alonso, (1999), *Fertirrigación*, 2ª edición, Ed. Mundi-Prensa, España

E. DIETER, George, (1999), *Engineering Design*, 3rd edition, Ed. McGraw-Hill, U.S.A.

FOLEY, Joseph, (1981), *Fundamentos de instalaciones eléctricas*, Ed. Mc Graw-Hill, U.S.A.

GAMIZ Caro, Juan Ángel, (2000), *Control de sistemas de aire acondicionado*, 1ª edición, Ed. CEAC, España

GARCIA, David, (2007), *Manual práctico Solid Edge V20*, Ed. Servicios Informáticos DAT, España

HANAN, Joe, (1998), *Greenhouses: Advanced Technology for Protected Horticulture*, Ed. CRC Press, U.S.A.

HAYT, KEMMERLY, DURBIN, (2003), *Análisis de circuitos en ingeniería*, Ed. McGraw-Hill, México

KONING, Ad, (2006), *Models and Sensors in Greenhouse Control*, Acta Horticulturae 718, III International Symposium on Models for Plant Growth, Environmental Control and Farm Management in Protected Cultivation, Holanda

MERCADO Adán, RICO, Enrique, (2007), *Manual de producción de jitomate de crecimiento indeterminado bajo invernadero*, Ediciones UAQ, México

MURASE, H., (2000), *Computer Applications and Phytotechnology in Horticulture*, XXV International Horticultural Congress, Acta Horticulturae 519, Bruselas, Bélgica

OGATA, K., (2002), *Modern Control Engineering*, Ed. Prentice-Hall, U.S.A.

TORRES HERRERA, Marco Aurelio, (1972), *Apuntes de Recursos y Necesidades de México*, Facultad de Ingeniería, UNAM, México

SEARS, Francis W., ZEMANSKY, Mark W., YOUNG, Hugh D. y FREEDMAN, Roger A., (2005), *Física Universitaria con física moderna*, Vol. 2, 11ª edición, Ed. Pearson Education, México

SERRANO, Zoilo, (2005), *Construcción de invernaderos*, Ed. Mundi-Prensa, España

SPIEGEL, M., (1991), *Estadística*, 2a edición, Ed. McGraw-Hill, México

VALDES, Fernando, PALLAS Ramón, (2007), *Microcontroladores: fundamentos y aplicaciones con PIC*, 1ª edición, Ed. Alfaomega, México

ARTÍCULOS CIENTÍFICOS

BENAVENTE R. M., García J. L., Oliveira C. E. L., Durán J. M. y Sánchez I., (1999), *Refrigeración de Invernaderos*, Revista Vida Rural No. 90, Julio, España

OMEGA, (1992), *Temperature measurement*, Handbook & Encyclopedia, Vol. 28, Omega Engineering, Inc., U.S.A.

RICO García, Enrique, (2007), *Invernaderos: Algunos aspectos básicos*, Gaceta Agropecuaria No. 14, Marzo, México

MESOGRAFÍA

Agroterra, (2010), Sistemas nebulización de agua para invernaderos, de <http://www.agroterra.com>

Datasheet catalog, (2011), LM35/LM35A/LM35C/LM35CA/LM35D Precision Centigrade Temperature Sensors, de <http://www.datasheetcatalog.org>

-----, (2011), LM124 - LM224 - LM324 Low power quad operational amplifiers, de <http://www.datasheetcatalog.com>

Estación experimental Las Palmerillas, Cajamar, (2010), Respuesta bioproductiva de un cultivo de tomate con calefacción y enriquecimiento carbónico, de <http://www2.larural.es>

Estado Guárico, (2011), Invernaderos de <http://guarico.com.ve>

Fax México, S.A. de C.V. (2010), Semillas y plántulas: tomate, mercado fresco, de <http://www.faxsa.com.mx>

Frada Invernaderos S. L. (2011), Cooling system de <http://www.frada-invernaderos.com>

Horticultura técnica, (2010), Pantalla térmica, malla de ocultación, de <http://hortitec.es>

I. E. S. Aguas vivas, (2011), El control climático: Invernadero de Brihuega, de <http://edu.jccm.es>

Infoagro systems, (2010), Ventilación en cultivos intensivos: Tipos de ventilaciones, de <http://www.infoagro.com>

Infojardín, (2011), Fichas de hortalizas y verduras: el tomate, de <http://articulos.infojardin.com>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía, (2011), México en cifras, información Nacional, por entidad federativa y municipios, de www.inegi.org.mx

Invernaderos agrícolas, (2011), Aplicación de los plásticos anti plagas en los invernaderos hortícolas, de <http://invernaderos-agricolas.blogspot.com>

Jardinería, (2011), Hermetismo en un invernadero, de <http://www.jardineria.pro>

MicroCom Solutions, (2010), Sensores de temperatura, de <http://www.microcomsolutions.com>

Productores de Hortalizas, (2010), Tomate del futuro: Opciones de producción de tomate en México, de <http://www.hortalizas.com>

Richel equipment, (2011), Calefacción – cooling, de <http://www.richel.fr>

Rufepa tecnoagro, (2010), Equipamientos interiores para invernaderos, de <http://www.rufepa.com>

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, (2010), Producción anual de tomate rojo en México, de <http://www.siap.gob.mx>

Servicio Meteorológico Nacional, (2011), Boletín Meteorológico General, de <http://smn.cna.gob.mx>

Somos mecatrónica, (2011), PDF's de PLC de <http://www.somosmecatronica.net>

STEREN soluciones en electrónica, (2011), Catálogo de relevadores de <http://steren.com.mx>

Taringa Inteligencia compartida, (2010), Apuntes y monografías: Tomate bajo invernadero, de <http://www.taringa.net>

Universidad Autónoma de Querétaro, Coordinación de Desarrollo de Servicios en la Web, (2011), Sistema de Invernaderos Automatizados, de <http://www.uaq.mx>