



Universidad del Azuay
Facultad de Ciencia y Tecnología
Escuela de Ingeniería Electrónica

**PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN DE UN INVERNADERO
PARA EL CULTIVO DE DIVERSOS PRODUCTOS
AUTÉNTICOS DE LA ZONA DONDE SE ENCUENTRA
UBICADA LA HACIENDA “AYALA”**

**Trabajo de Graduación previo a la obtención del título de
Ingeniero Electrónico**

**Autores: Cesar Ramiro Narvárez Ramón
Diego Patricio Tandazo Cofre**

Director: Dr. Hugo Torres Salamea

Cuenca, Ecuador

2006

DEDICATORIA

Con aprecio dedico éste trabajo a mis queridos padres y hermanos; a mis familiares y a toda la juventud para que sirva de guía de ejemplo de trabajo en la consecución de metas propuestas a lo largo de mi carrera estudiantil.

A mi Madre:

Sra. Blanca Ramón

A mi Padre:

Sr. Guillermo Narvález

A mis Hermanos:

Hernán, Sandra, Katty, Mariela, Vinicio, Jaime.

CESAR

DEDICATORIA

Dedico esta reseña escrita a mis padres por su apoyo incondicional, a mis hermanos, a mis tíos que me supieron dar su apoyo moral para culminar con éxito este escrito.

A mi Madre:

Sra. Teresa Cofre

A mi Padre:

Sr. Franco Tandazo

A mis Hermanos:

Diana y Christian

A mis tíos:

Javier Cañar, Franco Tandazo, Lilia Cofre, Rodrigo Cofre

DIEGO

AGRADECIMIENTO

Con profundo respeto expreso mis sentimientos de gratitud a mis queridos padres y hermanos quienes me apoyaron con sinceridad y cariño. De igual manera a los distinguidos maestros Ingeniero Germán Zúñiga, Ingeniero Hugo Torres, Ingeniero Santiago Mora, y al Ingeniero Leopoldo Márquez, por haberme guiado con profesionalización y capacidad y por haber compartido sus conocimientos durante toda mi trayectoria estudiantil dentro de la institución con lo que hace realidad mis aspiraciones de constituirme en elemento útil a la sociedad. Así mismo expreso mi gratitud sincera para todos los directivos de la institución, a mi compañero de tesis y amigo Diego, y a mis compañeros y compañeras que supieron apoyarme en la realización de mis tareas.

CESAR

Expreso con mucho cariño y sentimientos sinceros de gratitud primeramente a Dios, a mis padres y hermanos, así como expreso de igual manera este sentimiento a los señores profesores Dr. Hugo Torres, Ing. German Zúñiga, Ing. Santiago Mora, Ing. Leopoldo Vásquez, por haberme apoyado en cada instante durante mi instancia en esta Prestigiosa Institución. Agradezco también el apoyo fraterno de parte de mis profesores que día a día supieron compartir sus conocimientos con mi persona. Agradezco también a mis compañeros y compañeras por su apoyo en la realización de mi tesis así como también a mi amigo César.

DIEGO

INDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos.....	iv
Índice de contenidos.....	v
Resumen.....	x
Abstract.....	xi
Introducción.....	1
Capitulo 1: Estudio de algunas especificaciones técnicas del terreno para el cultivo de productos propios del sector.....	3
1.1. Estudio de los productos a ser cultivados en la hacienda “Ayala”.....	3
1.1.1. Tomate.....	4
1.1.2. Pimiento.....	6
1.2. Estudio de las temperaturas promedio.....	8
1.2.1. Estudio de las temperaturas promedio para el desarrollo del tomate.....	8
1.2.2. Estudio de las temperaturas promedio para el desarrollo del pimiento.....	8
1.3. Estudio de la humedad ambiental promedio.....	9
1.3.1. Estudio de la humedad ambiental promedio para el desarrollo del tomate.....	9
1.3.2. Estudio de la humedad ambiental promedio para el desarrollo del pimiento.....	9
1.4. Estudio de la iluminación.....	9

1.4.1. Estudio de la iluminación para el desarrollo del tomate.....	9
1.4.2. Estudio de la iluminación para el desarrollo del pimiento.....	10
Capítulo 2: Estudio de los sistemas de riego, ventilación e iluminación adecuada para la producción de estos alimentos.....	11
2.1. Estudio de los Sistemas de ventilación existentes para invernaderos.	11
2.1.1. Ventilación natural o pasiva.....	11
2.1.2. Ventilación mecánica o forzada.....	12
2.2. Estudio de los Sistemas de riego utilizados en los invernaderos....	12
2.2.1. Riego por aspersión.....	12
2.2.2. Riego localizado.....	13
2.3. Estudio de los Sistemas de iluminación adecuados para ser utilizados en invernaderos.....	15
2.3.1. HID (High Intensity Discharge).....	16
2.3.1.1. Haluro Metalico – MH.....	16
2.3.1.2. Sodio de Alta Presion – HPS.....	16
2.3.1.3. Consejos para iluminación con HID.....	17
2.3.2. Iluminación con Fluorescentes.....	17
2.3.3. Iluminación con Luz Incandescente.....	18
Capítulo 3: Descripción y selección de los elementos necesarios para la implementación del invernadero.....	20
3.1. Sensores de humedad.....	20

3.2.	Sensores de temperatura.....	24
3.3.	Sensores de iluminación.....	29
3.4.	Software a utilizar.....	30
3.4.1.	Simuladores.....	30
3.4.1.1.	Protel 99 SE.....	30
3.4.1.2.	MATLAB.....	35
3.4.1.3.	Pspice.....	39
3.4.1.4.	LabVIEW.....	47
3.4.1.5.	MPLAB IDE.....	50
Capítulo 4:	Detalle del funcionamiento del invernadero.....	55
4.1.	Diseño del modelo matemático del sistema de control.....	55
4.2.	Diseño del software a utilizar HMI.....	67
4.3.	Diseño del circuito electrónico para la adquisición de datos.....	75
4.3.1.	Adquisición de datos de temperatura.....	75
4.3.2.	Adquisición de luminosidad.....	75
4.3.3.	Adquisición de humedad.....	76
4.4.	Diseño del circuito electrónico de potencia para los diferentes actuadores.....	77
4.4.1.	Esquema de la tarjeta del sistema de control del invernadero.....	78
4.5.	Software de adquisición de datos en el PIC.....	81
4.6.	Implementación de la maqueta (invernadero).....	90
4.6.1.	Características generales de los invernaderos.....	90
4.6.2.	Características constructivas generales del invernadero.....	91

4.6.2.1 Dimensionado del invernadero.....	91
4.6.2.2 Anchura del invernadero.....	91
4.6.2.3. Altura del invernadero.....	92
4.6.2.4. Longitud del invernadero.....	92
4.6.3 Características básicas de los cultivos bajo invernaderos.....	93
4.6.3.1. Ventajas del cultivo bajo invernadero.....	93
4.6.3.2. Desventajas del cultivo bajo invernadero.....	93
4.6.3.3. Exigencias del cultivo bajo invernadero.....	93
4.6.3.4. Condiciones para el desarrollo del cultivo.....	94
4.6.4. Construcción de invernaderos.....	94
4.6.5. Factores que determinan el asentamiento del invernadero.....	95
4.6.6. Requisitos que debe cumplir un invernadero.....	96
4.6.7. Materiales y equipos para la construcción de invernaderos...	97
4.6.8 Plásticos para invernaderos.....	97
4.6.8.1 Tipos de plástico.....	98
4.6.8.2 Vida útil del plástico.....	99
4.6.8.3. Calibre del plástico.....	100
4.6.9. Preparación del suelo y del invernadero.....	100
4.6.9.1. Huachado de camas.....	101
4.6.9.2. Soporte para tutores.....	101
4.6.9.3. El semillero.....	101
4.6.9.4. Siembra en cama.....	101
4.6.9.5. Siembra en tubos.....	101
4.6.10. Tipos de invernaderos.....	102
4.6.10.1. Invernadero capilla.....	102

4.6.10.2. Invernadero capilla modificado.....	103
4.6.10.3. Invernadero diente de sierra.....	104
4.6.10.4. Invernadero curvo.....	105
4.6.10.5. Invernaderos de tubería galvanizada.....	106
4.6.11. Diseño del invernadero.....	109
4.7. Conclusiones Generales.....	118
Bibliografía.....	119

RESUMEN

Este trabajo monográfico describe el diseño de un sistema de control automático (software y hardware) que nos permite controlar y monitorear las variables ambientales (temperatura ambiental, humedad del suelo y riego) de un invernadero mediante un computador personal, con la finalidad de realizar un consumo mínimo de energía eléctrica y agua. Además detalla las condiciones ambientales optimas para el cultivo del pimiento y tomate, que serán sembrados en el invernadero. Así mismo describe los sistemas de ventilación, sistemas de iluminación y riego aplicables a un invernadero. También realiza una breve descripción de los sensores y del software utilizado durante el diseño. Para finalizar detalla la construcción del invernadero.

ABSTRACT

This monograph work describes the design of a automatic control system (software and harware) that allows us to control and monitor the environmental variables (environmental temperature, humidity of the floor and watering) of a hothouse by means of a personal computer, with the purpose of carrying out a minimum consumption of electric power and water. Also it details the good environmental conditions for the cultivation of the tomato and pepper that will be sowed in the hothouse. Likewise it describes the ventilation systems, ilumination systems and applicable watering to a hothouse. Also it carries out a brief description of the sensors and of the sotfware used during the design. When concluding it details the construction of the hothouse.

INTRODUCCION

La hacienda “Ayala” ubicada en el Kilómetro 7 de la Vía Machala – Santa Rosa en el sector Y de Corralitos, actualmente se dedica a la producción de Banano para exportación, debido a la caída de precio de la caja de Banano, busca aprovechar el terreno con la producción de alimentos auténticos de la zona. Además, debido a los cambios climatológicos que se viven actualmente, el gasto innecesario del agua y energía eléctrica.

Hace necesario la construcción de un invernadero con un sistema de control automático de temperatura, iluminación y riego. El uso de sistemas de control retroalimentados es el método eficaz para realizar este tipo de control con eficiencia y buen rendimiento de motores, en los que se incluyen bombas de agua y ventiladores con la finalidad de tener un consumo mínimo de energía eléctrica y agua.

Un invernadero es un edificio con paredes y cubierta plástico translúcido, empleado para el cultivo y la conservación de plantas delicadas, o para forzar su crecimiento fuera de temporada. Los invernaderos están ideados para transformar la temperatura, humedad y luz exteriores y conseguir así unas condiciones ambientales similares a las de otros climas.

La luz natural es suficiente en la mayoría de las regiones templadas, pero hay temporadas en las cuales el sol ofrece poca de iluminación, por lo que se hace necesario el suministro de luz artificial, necesaria para el crecimiento de las plantas. El calor interior se disminuye haciendo circular aire fresco mediante cualquier sistema de ventilación. La humedad se controla sobre todo a partir de la cantidad de agua aplicada en el riego.

Los controles electrónicos son actualmente de uso generalizado en los invernaderos. Inicialmente se aplicaron para gestionar el riego, hoy en día se utilizan también para control de los trabajos de los operarios y, esencialmente, para el control ambiental de los invernaderos.

Pero donde los controles electrónicos tienen cada vez más importancia es en la gestión del clima de los invernaderos. Todos los equipos de control climático requieren sistemas informáticos para su gestión, debido al gran número de variables e interacciones que se han de tener en cuenta para su manejo. Así, actualmente estos equipos disponen de sensores capaces de medir las diferentes variables climáticas, principalmente temperatura, humedad relativa o absoluta, radiación solar incidente, concentración de CO₂, velocidad y dirección del viento, etc. Todos esos datos se registran y representan gráficamente en un ordenador, que además es el encargado de verificar las consignas de control introducidas por el usuario y de enviar las señales pertinentes para que se pongan en funcionamiento o se detengan los distintos equipos de control climático.

En nuestro trabajo monográfico, hemos diseñado un sistema de control automático, tanto a nivel de software como de hardware, que controla tres variables: temperatura ambiental, iluminación y riego.

En el primer capítulo, realizamos un breve estudio sobre las condiciones climáticas, en la cual se desarrollan en óptimas condiciones los cultivos de tomate y pimiento.

A continuación se aborda un segundo capítulo dedicado al estudio de los sistemas de ventilación, riego e iluminación aplicables a los invernaderos.

En el tercer capítulo describimos las características generales de los diferentes software utilizados el diseño del invernadero, también detalla cada uno de los sensores a utilizarse en el diseño del sistema de control.

Luego en el cuarto capítulo, se diseñan el software y el hardware encargados de realizar el control automático, además se detalla la construcción del invernadero, y la posición de los sensores.

Esperamos que este escrito sea de gran ayuda para las personas que se dedican al diseño de sistemas de control en invernaderos.

Narváez Ramón César Ramiro
Tandazo Cofre Diego Patricio
Trabajo de graduación
Dr. Hugo Torres Salamea
Octubre del 2006

**PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN DE UN INVERNADERO PARA EL
CULTIVO DE DIVERSOS PRODUCTOS AUTENTICOS DE LA ZONA
DONDE SE ENCUENTRA UBICADA LA HACIENDA “AYALA”**

CAPITULO 1:

Estudio de algunas especificaciones técnicas del terreno para el cultivo de productos propios del sector.

1.1 Estudio de los productos a ser cultivados en la hacienda “Ayala”

Hoy en día debido a los cambios bruscos del clima, y al gasto innecesario de agua y energía eléctrica, hacen que se desarrolle un método para el cultivo de productos de tal forma que podamos tener un control para la utilización de estos recursos que cada vez son más escasos, para ello la creación de un invernadero en nuestras tierras es una muy buena idea. La utilización de estos invernaderos cada día es mayor debido a que presenta buenos resultados, de allí nace también la idea de automatizar estos invernaderos para reducir en gran proporción la intervención de la mano de obra humana.

Algunos de los cultivos que actualmente están protegidos en invernaderos son: el tomate, pimiento, pepino, sandía, melón, maíz dulce y otras variedades más pero en nuestra práctica de invernadero automatizado trataremos dos productos el **tomate** y **pimiento**.

1.1.1. Tomate:



Figura 1.1. Tomate, Familia de las Solanáceas.

Los alargados frutos de tomates de la variedad periforme Hort. Maduran todos a la vez y se emplean fundamentalmente en la industria conservera por lo que se requiere una gran producción de este producto. Pero para que este producto se desarrolle satisfactoriamente se requiere protegerlos de las plagas como: gusano biringo (*Agrotis ypsilon* Hufnagel) y rosquilla negra o gris (*Spodoptera frugiperda* Smith), que se alimentan de las raíces y partes verdes de las plantas, cogollero del tomate (*Spodoptera absoluta* Meyrick), cuyas larvas minan las hojas y los tallos, y provocan la caída de las flores y de los frutos jóvenes, falsos medidores (*Trichoplusia ni* Hübner y *Pseudoplusia includens* Walker), que provocan la defoliación de la planta.

Además hay que protegerlas de las malas hierbas, esto se lleva a cabo aplicando productos herbicidas antes de la plantación de las tomateras, después de la misma y en algunos casos cuando el cultivo esta bien desarrollado.

En la tabla 1.1. observamos la composición química del tomate:

Composición química de 100 g de tomate		
COMPONENTE	CONTENIDO (g)	CONTENIDO (mg)
Agua	94	
Proteínas	1	
Grasas	0,0	
H. de carbono	4	
Ceniza	0,7	
Calcio		13
Fósforo		27
Potasio		244
Vitamina B ₁		0,1
Vitamina B ₂		0,02
Niacina		0,60
Ácido ascórbico		21
Vitamina A		1700 UI
Valor energético		23 cal

Tabla 1.1. Composición química del tomate¹

Recolección

La recolección del tomate para el consumo en fresco se realiza casi exclusivamente a mano y de forma escalonada. Si se emplea cosechadoras mecánicas, deben haberse elegido cultivares que maduren simultáneamente y que vayan a utilizarse de inmediato, ya que los frutos suelen resultar dañados. Por ésta razón, la recolección mecánica sólo se lleva a cabo con el tomate destinado a la industria.

El momento de la recolección dependerá del tiempo que tarden los frutos en llegar al mercado, pero al menos se debe tener la seguridad de que la parte del fruto opuesta al pedúnculo ha tomado un color blanquecino, porque solo a partir de entonces el tomate podrá terminar de madurar separado de la planta. En especial para una conservación de tres semanas se precisan cámaras con una humedad relativa del 85% al 90%, UNA TEMPERATURA DE 10°C y un contenido de oxígeno del 5%.

¹ Enciclopedia Práctica de la Agricultura y Ganadería, Edit. Océano., Barcelona, 1999, p. 633.

Los rendimientos de la cosecha de tomate varían desde las 40 o 50 t/ha de los cultivos de temporada hasta las 160 t/ha que se obtienen en los modernos invernaderos².

1.1.2. Pimiento



Figura 1.2. Pimiento, Familia de las Solanáceas

El pimiento tiene un sistema radicular pivotante muy desarrollado, que produce numerosas raíces adventicias. El tallo erecto y de crecimiento limitado, al final del ciclo se lignifica. Las hojas tienen un largo pecíolo, y son enteras y lampiñas. Las flores se autofecundan y aparecen aisladas en las axilas de las hojas. El fruto consiste en una baya de tamaño, forma y color distintos, según la variedad y la época de recolección.

En la tabla 1.1. observamos la composición química del pimiento:

² Enciclopedia Practica de la Agricultura y Ganadería, Edit. Océano., Barcelona, 1999, p. 636.

Composición química de 100 g de pimiento		
COMPONENTE	CONTENIDO (g)	CONTENIDO (mg)
Agua	93,4	
Proteínas	1,2	
Grasas	0,2	
H. de carbono	4,8	
Ceniza	0,4	
Fibra		1,4
Calcio		9
Fósforo		22
Hierro		0,7
Sodio		13
Potasio		213
Tiamina		0,08
Riboflavina		0,08
Niacina		0,50
Ácido ascórbico		128
Vitamina A		420 UI
Valor energético		22 cal

Tabla 1.2. Composición química del pimiento³.

El pimiento se puede cultivar al aire libre o en invernaderos. Las épocas de siembra y recolección varían ya que es determinada por el ciclo del cultivar elegido tabla 1.3.

Fechas de siembra y recolección de los distintos ciclos de cultivo del pimiento					
Ciclo	Siembra		Trasplante		Época de recolección
	Lugar	Fecha	Lugar	Fecha	
Extratemporal	Protegido	Otoño	Protegido	Invierno	Final invierno
Temprano	Protegido	Principio invierno	Protegido o exterior	Final invierno	Primavera
Media Estación	Protegido o directamente en el campo	Final invierno (Protegido) o primavera (exterior)	Exterior	Primavera	Verano

Tabla 1.3. Fechas de siembra y recolección de los distintos ciclos de cultivo del pimiento⁴

³ Enciclopedia Práctica de la Agricultura y Ganadería, Edit. Océano., Barcelona, 1999, p. 627.

⁴ Enciclopedia Práctica de la Agricultura y Ganadería, Edit. Océano., Barcelona, 1999, p. 629.

1.2 Estudio de las temperaturas promedio.

En este apartado se estudia la temperatura en el cual el tomate y pimiento se desarrollan, en sus diferentes etapas de crecimiento hasta su cosecha.

1.2.1. Estudio de las temperaturas promedio para el desarrollo del tomate

El tomate es un producto que puede resistir durante la fase vegetativa temperaturas elevadas. No resiste las heladas, y las bajas temperaturas provocan retrasos en su desarrollo. La alternancia de temperaturas entre el día y la noche (termo periodismo) también influye en el desarrollo vegetativo de la planta y la maduración de los frutos. La temperatura media ideal de crecimiento está entre los 22 °C ó 23 °C. La actividad vegetativa se paraliza por debajo de los 12 °C⁵.

1.2.2. Estudio de las temperaturas promedio para el desarrollo del pimiento.

El pimiento es originario de lugares cálidos, es bastante exigente en calor, para conseguir una vegetación adecuada y una cosecha abundante se estima necesaria una temperatura media mensual comprendida entre los 18°C y 22°C, aunque la más favorable oscila entre los 20°C y 25°C por el día y de 16°C a 18°C por la noche. Por debajo de los 15°C la planta retrasa su crecimiento, que se paralizaría al llegar a los 10°C, pudiendo sufrir daños por heladas por debajo de los 0°C. Con temperaturas superiores a 35°C, la fecundación es muy deficiente, sobretodo si el ambiente es seco. Sin embargo la planta tolera temperaturas muy elevadas, superiores a los 40°C, a condición que exista una elevada humedad ambiente; en caso contrario, se produce una parada vegetativa con caída de flores y deshidratación de frutos pequeños, e incluso de hojas⁶.

⁵ Enciclopedia Practica de la Agricultura y Ganadería, Edit. Océano., Barcelona, 1999, p. 634.

⁶ Enciclopedia Practica de la Agricultura y Ganadería, Edit. Océano., Barcelona, 1999, p. 628.

1.3 Estudio de la humedad ambiental promedio.

1.3.1. Estudio de la humedad ambiental promedio para el desarrollo del tomate

El tomate puede resistir durante la fase vegetativa temperaturas elevadas, siempre que la humedad relativa del aire no sea demasiado baja. Estas condiciones, sin embargo, son desfavorables para el cuajado de los frutos, momento en el que la humedad relativa debe mantenerse entre el 55 y el 60 por ciento⁷.

1.3.2. Estudio de la humedad ambiental promedio para el desarrollo del pimiento

El pimiento se adapta bien al ambiente confinado tanto de los túneles como de los invernaderos, donde frecuentemente existe una humedad relativa muy elevada, a condición de que no se produzcan cambios bruscos o desajustes entre la humedad y la temperatura; es decir, un aumento de temperatura no produce efectos negativos si coincide con una elevada humedad ambiente, siendo por el contrario beneficioso para el crecimiento de la planta.

No obstante, y en condiciones normales de temperatura, la humedad relativa óptima oscila entre el 50% y el 70%. Con una humedad relativa superior se producen condiciones favorables al desarrollo de enfermedades en la planta⁸.

1.4 Estudio de la iluminación.

Dentro de se apartado veremos la cantidad de iluminación adecuada para el desarrollo de los cultivos de tomate y pimiento.

1.4.1. Estudio de la iluminación para el desarrollo del tomate.

La iluminación es necesaria en el período de formación de la flor hasta la coagulación del fruto, durante el día necesita ser iluminada pero durante la noche no,

⁷ Enciclopedia Practica de la Agricultura y Ganadería, Edit. Océano., Barcelona, 1999, p. 634.

⁸ Enciclopedia Practica de la Agricultura y Ganadería, Edit. Océano., Barcelona, 1999, p. 628.

durante el período de crecimiento del fruto la iluminación es necesaria pero no indispensable, y puede ser fácilmente remplazada por luz artificial no es exigente en este aspecto⁹.

1.4.2. Estudio de la iluminación para el desarrollo del pimiento.

El pimiento es una planta exigente en luz durante todo su ciclo vegetativo, especialmente en la floración. Esta se reduce y las flores son más débiles con escasa luminosidad. La falta de luz produce un cierto ahilamiento de la planta con alargamiento de los entrenudos y de los tallos del pimiento. Al quedar estos más débiles, no podrán soportar una cosecha abundante de frutos.

La capa de condensación que se produce sobre el plástico del invernadero reduce la luminosidad dentro del mismo durante la mañana, lo que, como se ha dicho, va en perjuicio de la floración, circunstancia que aconseja iniciar la ventilación, durante dicho período, a primeras horas del día.

Es importante tener en cuenta la relación que existe entre la temperatura y la luminosidad. Cuando se eleva la temperatura, bien de forma natural o con calefacción, en condiciones de luz escasa, se produce el crecimiento ahilado de la planta¹⁰.

⁹ Enciclopedia Practica de la Agricultura y Ganadería, Edit. Océano., Barcelona, 1999, p. 634.

¹⁰ Enciclopedia Practica de la Agricultura y Ganadería, Edit. Océano., Barcelona, 1999, p. 628.

CAPITULO 2:

Estudio de los sistemas de riego, ventilación e iluminación adecuada para la producción de estos alimentos.

2.1 Estudio de los Sistemas de ventilación existentes para invernaderos.

La ventilación consiste en la renovación del aire dentro del recinto 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 forzada¹¹.

2.1.1. Ventilación natural o pasiva.

Se basa en la disposición, en las paredes y en el techo del invernadero, de un sistema de ventanas que permiten la aparición de una serie de corrientes de aire que contribuyen a disminuir las temperaturas elevadas. Las ventanas pueden ser cenitales si se disponen en la techumbre o laterales si están colocadas sobre las paredes laterales del invernadero. Se admite que una ventana cenital de una determinada superficie resulta a efectos de aireación hasta ocho veces más efectiva que otra situada lateralmente de igual superficie. Normalmente las ventanas deben ocupar entre un 18 y 22% de la superficie de los invernaderos, teniendo en cuenta que con anchuras superiores a los 20 m. será imprescindible disponer de ventilación cenital que mejore la aireación lateral.

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 manualmente¹¹.

¹¹ http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/control_climatico.asp



Figura 2.1. Apertura automática de ventanas

2.1.2. 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 pasiva¹¹.



Figura 2.2. Ventilación mecánica o forzada

2.2 Estudio de los Sistemas de riego utilizados en los invernaderos.

Existen dos sistemas de riego aplicados comúnmente en el diseño de invernaderos, los cuales daremos a conocer en este apartado con la finalidad de seleccionar un sistema apropiado para nuestro invernadero automático.

2.2.1. Riego por aspersión

Junto con el riego por goteo es el método más utilizado, teniendo en cuenta el ahorro de agua. Tuvo un gran auge hace varios años, cuando el riego localizado aun no era muy conocido, y se mantiene en una línea estable.

En los cultivos de invernaderos no se suelen utilizar aspersores de gran alcance debido al daño que el chorro puede ocasionar a las plantas; por tanto, se trata de utilizar difusores o micro aspersores de corto alcance con marcos de alta densidad.

Aunque una de las ventajas más sobresalientes puede radicar en el aumento de la humedad ambiental, lo cierto es que su efecto es escaso y dura un período muy corto; sin embargo, es más interesante la posible aplicación de los fertilizantes por el agua de riego.

En este sistema, lo normal es el empleo de instalaciones fijas de PVC o PE cuyo marco varía según el modelo que se emplee; existen infinidad de ellos en el mercado.

Los mini aspersores son emisores con mecanismos giratorios, contruidos generalmente de plástico para abaratar su costo y que resistan perfectamente la acción de los fertilizantes que van disueltos en el agua de riego. Sus caudales varían entre 12 y 120 litros por hora por compresiones que van de 1 a 4 Kg/Cm². la frecuencia ser riego suele ser de 3 a 4 días. Existen numerosos tipos, algunos de los cuales son autocompensantes, lo que indican que cuando actúan con cierta presión lo hacen con caudal variable.

Los difusores son emisores que lanzan el agua al exterior con cierta presión. Sus caudales varían desde 12 a 120 Litros por hora, lo que obliga a riegos de corta duración y frecuentes, es decir cada 2 a 3 días. Las presiones se establecen entre 1 y 2 Kg/Cm²., habiendo también difusores autocompensantes¹².

2.2.2. Riego localizado.

Indudablemente es el sistema de riego que se ha extendido más en los últimos años, al menos en lo que ha cultivo en invernaderos se refiere. Las ventajas en las que se basan tal expansión son las siguientes:

¹² PEREZ, José: Cultivo del Pepino en Invernadero, Pub. Extensión Agraria, Madrid, 1984,p. 180-181

- La eficiencia del riego es la más alta entre todos los tipos conocidos hasta el momento, lo cual redundará en marcado ahorro de agua siempre, naturalmente, que se maneje con corrección.
- Las tuberías laterales se pueden retirar fácilmente del terreno, con lo que se facilita las labores a efectuar en el mismo.
- Se adapta perfectamente al cultivo en líneas.
- Admiten aplicaciones frecuentes de agua con dosis reducidas.
- La fertilización incorporada al agua de riego es muy sencilla y se realiza sin inconvenientes.

Entre las desventajas, aparte del costo, está también la posible salinización progresiva del suelo, sobre todo si el riego no se maneja correctamente y si el agua es de baja calidad; en estas condiciones los daños ocurren rápidamente.

También se producen obturaciones si se descuidan las operaciones de filtrado, llegando incluso a la inutilización total del sistema. Por otro lado, el personal responsable de llevar a cabo las distintas operaciones de riego debe tener una buena preparación técnica.

En el mercado existen innumerables tipos y modelos. En general todos ellos constan de los siguientes elementos:

- Goteros: son emisores normalmente de polietileno que van colocados uno por planta o cada dos plantas y cuyos caudales son inferiores a 12 litros por hora con presiones de 0.5 a 2 Kg/Cm². Los hay de muchas clases, tales como los de conducto largo, entre los que se encuentra el micro tubo de laberinto, de orificio y de tipo vortex; también los hay autocompensantes y autolimpiantes. Mención especial merecen las mangueras o tuberías de goteros que son conducciones provistas de perforaciones poco espaciadas o con la pared porosa. De todos estos goteros, en las explotaciones de tipo familiar abunda el sistema de micro tubo debido a su economía y facilidad de montaje.

- Portagoteros: son las mangueras de polietileno que van a lo largo de las líneas de plantas y sobre las cuales se colocan los goteros. Existen también diversas clases de portagoteros según el modelo de riego localizado del que se trate.
- Cabezal: consta fundamentalmente del tanque o inyector de fertilización y de los filtros, además de las válvulas, manómetro y contadores pertinentes. Se encuentra frecuentemente en un lugar estratégico de la explotación para que desde el se haga perfectamente la distribución. Sus dimensiones dependen de la superficie a regar¹².

2.3 Estudio de los Sistemas de iluminación adecuados para ser utilizados en invernaderos.

En ciertas ocasiones es preciso aplicar iluminación artificial o simplemente regular la iluminación natural en el interior del invernadero. Esto puede hacerse con el fin de:

- Aumentar la asimilación neta, forzando una mayor tasa de fotosíntesis, durante los meses invernales.
- Romper la continuidad del período oscuro en plantas de día corto, con la finalidad de favorecer el crecimiento vegetativo en una época en que se vería favorecida la floración sin que las plantas tuvieran el adecuado tamaño, o bien para provocar la floración en plantas de día largo en épocas de poca iluminación.
- Reducir la intensidad luminosa en siembras estivales de hortalizas como el apio, la cebolla, cubriendo los semilleros con mallas, cañizos, etc.



Figura 2.3. Iluminación artificial en invernaderos

La iluminación artificial te permite prolongar la temporada de crecimiento proveyendo a tus plantas un equivalente de interior a la luz del sol. La iluminación artificial es también una grandiosa forma de empezar antes la germinación de plantas en un semillero una vez pasados los fríos del invierno. Hay tres tipos principales de sistemas de iluminación.

2.3.1. HID (High Intensity Discharge)

La iluminación con ampolletas HID es la manera más eficiente de convertir electricidad en luz disponible para los consumidores. Hay dos tipos de iluminación HID para cultivos¹³.

2.3.1.1. Halogenuro Metálico – MH

Las ampolletas de Halogenuro Metálico producen una abundancia de luz en el espectro azul. Este color de la luz promueve crecimiento vegetativo y es excelente para un crecimiento verde de abundante hoja y baja estatura. Es el mejor tipo de luz para usar como fuente primaria (en caso de nada o poca luz solar disponible). El tiempo de vida útil medio es cerca de 10.000 horas de funcionamiento. Después de este tiempo la ampolleta seguirá funcionando, pero su nivel de luminosidad ira descendiendo y ya no nos será tan útil hasta que finalmente terminara quemándose. Si comparamos los lúmenes (brillo) por unidad de energía consumida, los halogenuros metálicos producen hasta 125 lúmenes por watt comparado con los 39 lúmenes por watt de los tubos fluorescentes y los 18 lúmenes por watt para la ampolleta incandescente estándar¹³.

2.3.1.2. Sodio de Alta Presión – HPS

Las ampolletas de alta presión de sodio emiten un espectro naranja-rojo. Esta banda del espectro luminoso activa las hormonas en plantas que potencian la floración en la misma. Son las mejores luces disponibles para la iluminación secundaria o

¹³ <http://www.epec.com.ar/energía/invernadero>

suplementaria (usada conjuntamente con luz del sol natural). Esto es ideal para el uso en invernadero.

No solamente sirve para la floración, tienen dos características que la hacen una alternativa más económica. Su tiempo de vida útil es dos veces la de los halogenuros metálicos, pero después de 18.000 horas de uso comenzaran a consumir más electricidad mientras que su luminosidad disminuye. Las ampolletas de HPS son muy eficientes, producen hasta 140 lúmenes por watt. Su desventaja es que son deficientes en espectro azul. Si se comienza un cultivo de una planta joven bajo ampolleta de HPS, la variación vertical de la planta es impresionante. De hecho, quizás demasiado impresionante. La mayoría de las plantas crecerían muy altas y delgadas. Esto no sucede si estas en un invernadero, la luz del sol es alta en el espectro azul que compensaría el estiramiento producido por la ampolleta HPS¹³.

2.3.1.3. Consejos para iluminación con HID.

Altura de la ampolleta: debido al calor que se emite con estos tipos de accesorios, deberán colgarlas según su tamaño. Las de menor potencia (100W a 250W) se deben colgar a 1m aprox. de la punta de la planta. Las de potencia media (400W a 600W) se deben colgar alrededor de 1,2 m de la punta de las plantas (si usas Son-T Agro, de Phillips esta relación es menor). Las de alta potencia (+1000W) se deben poner por lo menos a 1,5-2 m de la punta de la planta.

¿Cuanto tiempo de luz necesitan? Esto depende del tipo de planta. La mayoría de las plantas y vegetales necesitan cerca de 10 a 12 horas de luz para promover el crecimiento. Las plantas que producen frutas o flores crecerán mejor con hasta 16 horas al día de la luz suplemental¹³.

2.3.2. Iluminación con Fluorescentes.

Hasta hace poco tiempo, las luces fluorescentes han tenido baja potencia y han sido demasiado grandes y abultadas para ser usados en cultivos más que para germinar semillas. Las nuevas luces fluorescentes compactas de espectro completo han cambiado esto. Su popularidad ha aumentado para el uso de propagación y

crecimiento vegetativo. A 60 lúmenes por watt, estas luces son energía eficiente y extremadamente efectivas especialmente cuando son utilizadas en gran número. Mientras que no tan eficientes como las luces HID, los fluorescentes tienen mejores propiedades de color de espectro y producen mucho menos calor comparadas con una ampollita HID. Esto permite que puedan ser acercadas más a las plantas (a sólo centímetros) que aumentan su eficacia.

Los tubos estándar de espectro completo de 120cm y 60cm son buenos para la germinación y el inicio de la planta. Son también de uso popular para plantas de baja necesidad lumínica. Estas luces son de intensidad reducida y necesitan ser colocadas dentro de 2cm a 5cm de la punta de las plantas para ser eficaces. Si bien puedes tirar un cultivo con varios tubos fluorescentes, estos te servirán para toda la etapa de crecimiento vegetativo, pero para la floración es recomendable cambiar por una iluminación HID¹³.

2.3.3. Iluminación con Luz Incandescente.

Este tipo de iluminación es bueno para aportar luz secundaria a plantas de casa individuales o pequeños cultivos económicos, la ventaja es que no requieren de una lámpara (balastro) especial para la ampollita. Las ampollitas incandescentes aportan una muy baja cantidad de lúmenes comparada con una de tipo HID o un fluorescente.

En la tabla 2.1 vemos una comparación entre los sistemas de iluminación.

Características	Incandescentes	Haluro Metálico	Sodio de Alta Presión	Fluorescentes
Luz producida	Rojo e infrarrojo (elevado poder calorífico)	Abundancia de luz en el espectro azul	Emiten un espectro naranja-rojo	Mixta con preponderancia de azul y rojo
Rendimiento luminoso	10 %	90 %	90%	90% (emana poco calor)
Duración	1000 horas	10000 horas	2000 horas	3500 horas
Aplicación	Invernadero de grandes dimensiones. Adelanto o retraso de la floración	Crecimiento de plantas	Adelanto de la floración	Crecimiento de plantas
Observaciones	Bajo costo de instalación; elevado uso	Atención al tipo comercial que se elige	Deficiencia en el espectro azul	Débil intensidad luminosa

Tabla 2.1. Tipos y características de lámparas empleadas en iluminación de invernaderos¹³.

CAPITULO 3:

Descripción y selección de los elementos necesarios para la implementación del invernadero.

3.1 Sensores de humedad

SENSOR DE HUMEDAD CONDUCTIVO EN SÓLIDOS CON APLICACIÓN EN INVERNADEROS¹⁴

Se ha buscado un instrumento de bajo costo, sencilla implementación y capaz de transmitir una señal estándar de 4-20mA, con la menor incidencia de ruido y errores posibles. Además, debe ser capaz de enviar la señal de múltiples sensores de manera de ocupar una única entrada de un Microcontrolador.

El objetivo de nuestro trabajo ha sido el de buscar un sensor de humedad conductivo en sólidos para ser implementado en un invernadero, que regule desde un Microcontrolador el porcentaje de humedad en la tierra.

Se propuso instalar sensores, con el menor costo de materiales, un sensor que sea capaz de manipular, la humedad de la tierra dentro de un invernadero con la mínima dificultad posible. Esto significó, no sólo una interfase sencilla entre el sensor y el actuador, sino una económica y fácil instalación, puesta en marcha, mantenimiento y lectura del sensor, de acuerdo con el ambiente al que se debe adaptar.

Principio de medición y métodos de sensado.

El principio de medición de humedad en sólidos está expresado como Contenido de Humedad, que es la cantidad de agua existente en una sustancia sólida por unidad de peso o de volumen del sólido seco. Para ello existen diversos métodos de medición de acuerdo con las exigencias de cada aplicación:

¹⁴ Sensor de humedad conductivo desarrollado por Elias Fliger e Ing. Leandro Padovani, Universidad de Quilmas, Buenos Aires.

- ✓ Secado Térmico.
- ✓ Método Conductivo.
- ✓ Método Capacitivo.
- ✓ Método Infrarrojo.
- ✓ Método Radiactivo.

El método conductivo, consistente en hacer pasar una corriente a través de unos electrodos en contacto con la tierra figura 3.1. Las sales disueltas en el agua forman un puente conductivo de una cierta resistividad que aumenta o disminuye de acuerdo con el grado de humedad presente en el sólido tabla 3.1. Esto produce una caída de tensión entre los bornes de los electrodos que es, finalmente, transmitida al Microcontrolador. para controlar el grado de apertura de los regadores.

% Humedad	Resistencia [Ohm]
Tierra 100% humedad	230
Tierra 0% humedad	6130

Tabla 3.1. Resistencia de la tierra para 0% y 100% de humedad, determinando los extremos de la escala de medición.

Esquema electrónico.

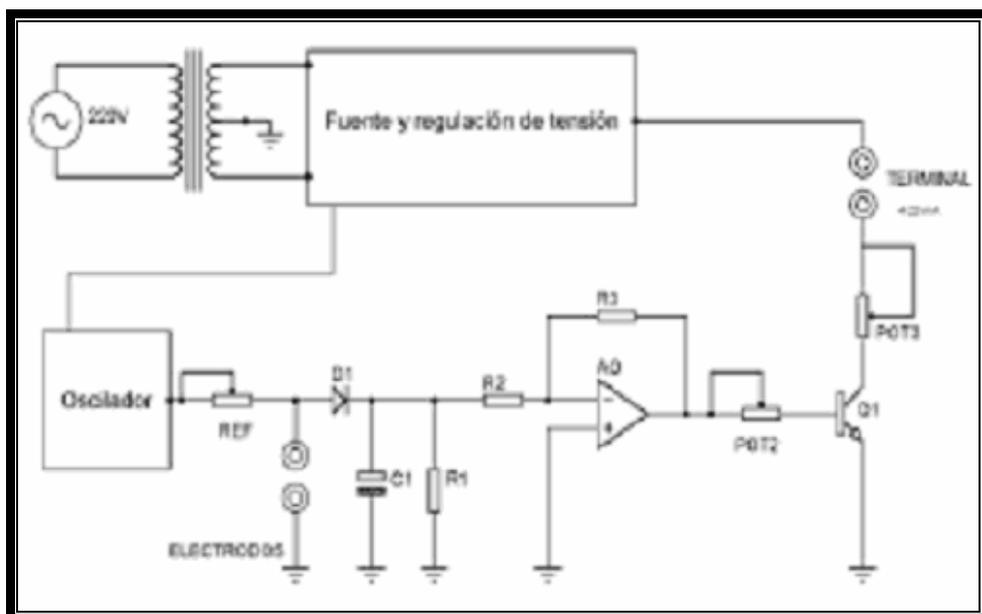


Figura 3.1. Esquema electrónico del sensor de humedad.

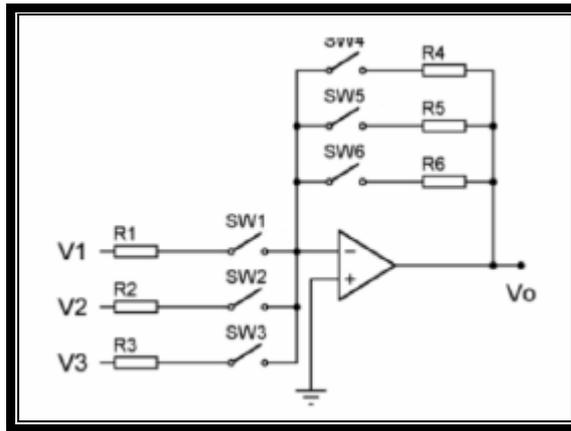


Figura 3.2. Promediador de las señales provenientes de tres sensores.

Funcionamiento

Como puede verse en la figura 3.1, el circuito consta de seis etapas bien diferenciadas:

1. Fuente de tensión continua estable regulable de +/- 5 V y 300 mA.
2. Oscilador de onda cuadrada de 10 Vpp.
3. Resistencia referencia y bornes de sensado.
4. Rectificador de media onda.
5. Promediador.
6. Transmisor de 4-20 mA.

El sensor no puede tener una fuente de tensión continua de sensado ya que podrían dañarse los electrodos al entrar en contacto con el agua, por efecto de la electrólisis. Entonces, por medio de una fuente oscilante de tensión, se inyectó una señal de onda cuadrada a las puntas de prueba para evitar su degradación.

La etapa osciladora ha sido armada con el temporizador LM555. Se diseñó para que en su salida se obtenga una onda cuadrada de valor medio nulo con frecuencia de aproximadamente 1,5 KHz, mientras que los valores pico de onda quedan establecidos entre la tensión de entrada y la tierra, del circuito integrado. Además, dado que en una misma placa coexistirán hasta un máximo de tres sensores, se

implementó una etapa osciladora por cada par de electrodos y, de esta manera, reducir errores en la medición de cada instrumento.

En la salida del oscilador se encuentra una resistencia variable que sirve como referencia a los electrodos de sensado cuando la tierra posee un 100% de humedad. Es preciso tener una referencia variable ya que las sales presentes en cada tipo de tierra pueden cambiar con el tiempo o las necesidades, permitiendo la corrección de lectura del sensor en caso de ser necesario. También, se empleó un simple rectificador de media onda que entregará un valor medio máximo de aproximadamente 5 V, con la ayuda de un filtro RC, a la entrada del promediador.

Las señales provenientes de cada electrodo se promedian electrónicamente con un amplificador operacional LM358. En caso de ser útil, es posible desacoplar cada una o todas las entradas al promediador mediante unos jumpers, como puede verse en la figura 3.2.

De esta forma, siempre se mantiene un promedio de los valores medidos y, al mismo tiempo, es un esquema conveniente por dos motivos. En primer lugar, permite analizar individualmente las señales de cada uno de los sensores. En segundo lugar, cumple con las necesidades de instalación al hacer uso de una sola entrada del Microcontrolador y no tener que emplear una entrada diferente por cada señal, desaprovechando la capacidad del PIC.

Finalmente, tenemos el lazo de corriente provisto por un transistor bipolar NPN 2N2222, conectado como emisor común. Posee dos potenciómetros, uno en la base y otro en el colector, que sirven para ajustar tanto el alcance (span) como el cero de la escala del instrumento. Entonces, la variación de la corriente de base I_B del transistor, gobierna en forma activa la polarización de la juntura, de manera tal que la corriente de colector I_C se ve modificada con I_B . La corriente de colector es la que será transmitida al Microcontrolador como señal estándar de 4-20 mA de corriente continua, en forma analógica, para que éste último tome las decisiones pertinentes sobre los regadores.

3.2 Sensores de temperatura de precisión LM35/LM35A/LM35C/LM35CA/LM35D¹⁵

Descripción General

La serie LM35 son circuitos integrados de precisión utilizados para la medición de temperatura, cuya salida de voltaje es linealmente proporcional a la temperatura en grados centígrados (Celsius). El LM35 tiene una ventaja sobre los sensores de temperatura lineal calibrados en grados Kelvin, como el usuario está requiriendo extraer una constante alta de voltaje de éste se obtiene una salida conveniente en escala de grados centígrados. El LM35 no requiere ninguna calibración externa para proveer una exactitud típica de $\pm 1/4^{\circ}\text{C}$ de temperatura en habitaciones y $\pm 3/4^{\circ}\text{C}$ sobre un rango máximo de -55°C a $+150^{\circ}\text{C}$. El LM35 tiene baja impedancia de salida, y además es una salida lineal figura 3.4.1 y figura 3.4.2, y precisa una calibración inherente que supone adaptar una interfaz o circuito de control específico sencillo. Este puede ser usado con una única fuente de poder, o con un suministro de poder positivo y negativo. Como ésta proporciona únicamente $60\ \mu\text{A}$, este tiene un muy bajo autocalentamiento, menos que 0.1°C en aire calmado. El LM35 es apropiado para trabajar sobre un rango de -40°C a $+110^{\circ}\text{C}$.

Características.

- * Calibración directa en grados centígrados.
- * Lineal un $10.0\ \text{mV}/^{\circ}\text{C}$ factor de escala.
- * 0.5°C de imprecisión en cada 25°C .
- * Rango máximo de -55 a $+150\ ^{\circ}\text{C}$.
- * Apropiado para aplicaciones lejanas.
- * Bajo costo debido al nivel de ondulación
- * Proporciona de 4 a 30 voltios.
- * Menos de $60\ \mu\text{A}$ de corriente de Drain.
- * Bajo autocalentamiento 0.08°C en aire tranquilo.
- * Baja impedancia de salida, $0.1\ \Omega$ por $1\ \text{mA}$ de carga.

¹⁵ Hoja de Datos del LM35 fabricado por Nacional Semiconductor

Diagrama de Conexión del LM35.

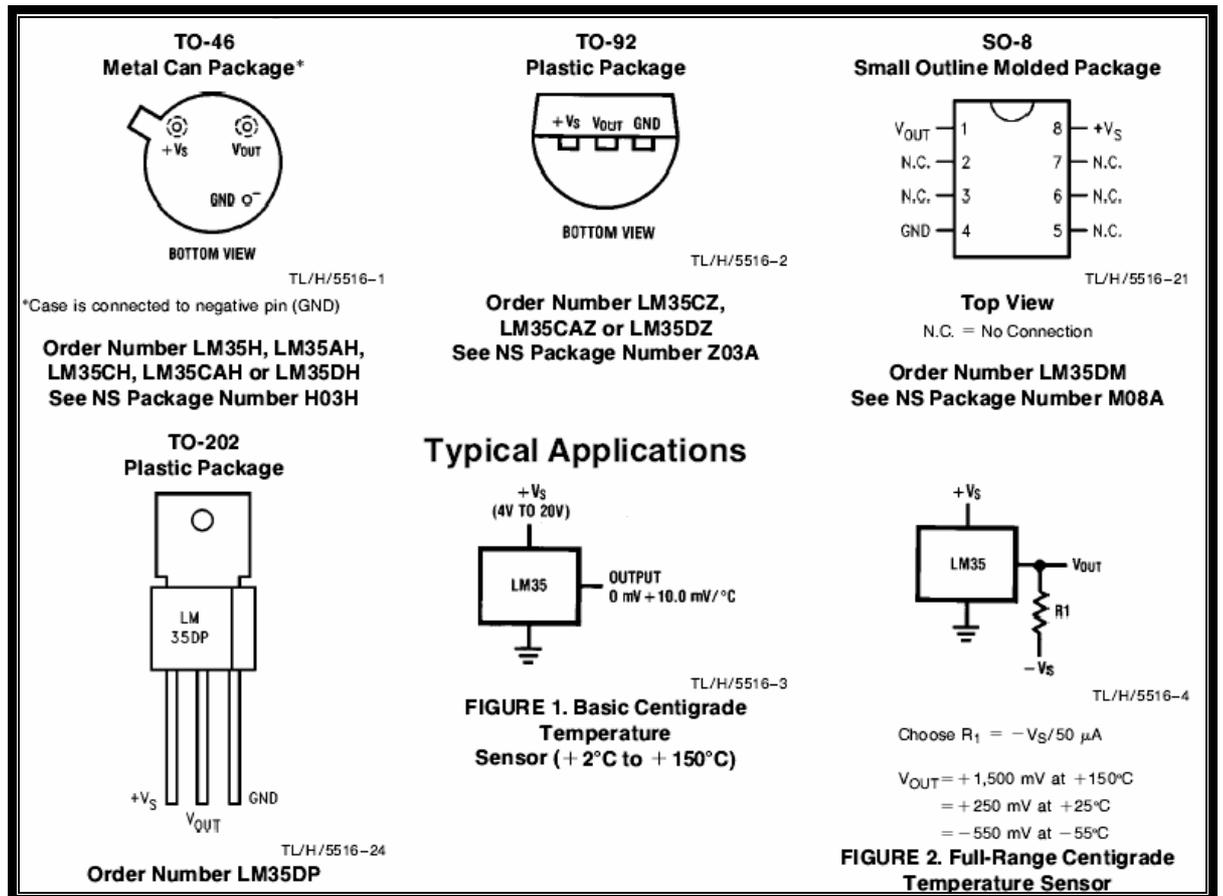


Figura 3.3. Encapsulado, Pinaje y Aplicación Típicas de un LM35.

Rango Absoluto Máximo.

Suministro de voltaje	+35V a -0.2 V
Voltaje de salida	+6V a -1.0V
Corriente de salida	10 mA

Temperatura de almacenamiento:

TO-46 Package, -60°C a +180°C

TO-92 Package, -60°C a +150°C

SO-8 Package, -65°C a +150°C

TO-202 Package, -65°C a +150°C

Temperatura principal:

TO-46 Package, (10 segundos) 300°C

TO-92 Package, (10 segundos) 60°C

TO-202 Package, (10 segundos) +230°C

Especificación del rango de temperatura de operación: T_{MIN} a T_{MAX}

LM35, LM35A -55°C a +150°C

LM35C, LM35CA -40°C a +110°C

LM35D 0°C a +100°C

Especificaciones Eléctricas

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	± 1.0	$^\circ\text{C}$
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	± 0.3			± 0.3		± 1.0	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{MAX}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0	± 1.5	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{MIN}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4		± 1.5	$^\circ\text{C}$
Nonlinearity (Note 8)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	± 0.18		± 0.35	± 0.15		± 0.3	$^\circ\text{C}$
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/ $^\circ\text{C}$
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
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	± 0.02		± 0.1	± 0.02		± 0.1	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56	67		56	67		μA
	$V_S = +5\text{V}$	105		131	91		114	μA
	$V_S = +30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56.2	68		56.2	68		μA
	$V_S = +30\text{V}$	105.5		133	91.5		116	μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	0.2	1.0		0.2	1.0		μA
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	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	$^\circ\text{C}$
Long Term Stability	$T_J = T_{MAX}$, for 1000 hours	± 0.08			± 0.08			$^\circ\text{C}$

Tabla 3.2. Especificaciones Eléctricas del LM35

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			$^\circ\text{C}$

Tabla 3.3. Especificaciones Eléctricas del LM35

Características típicas de funcionamiento.

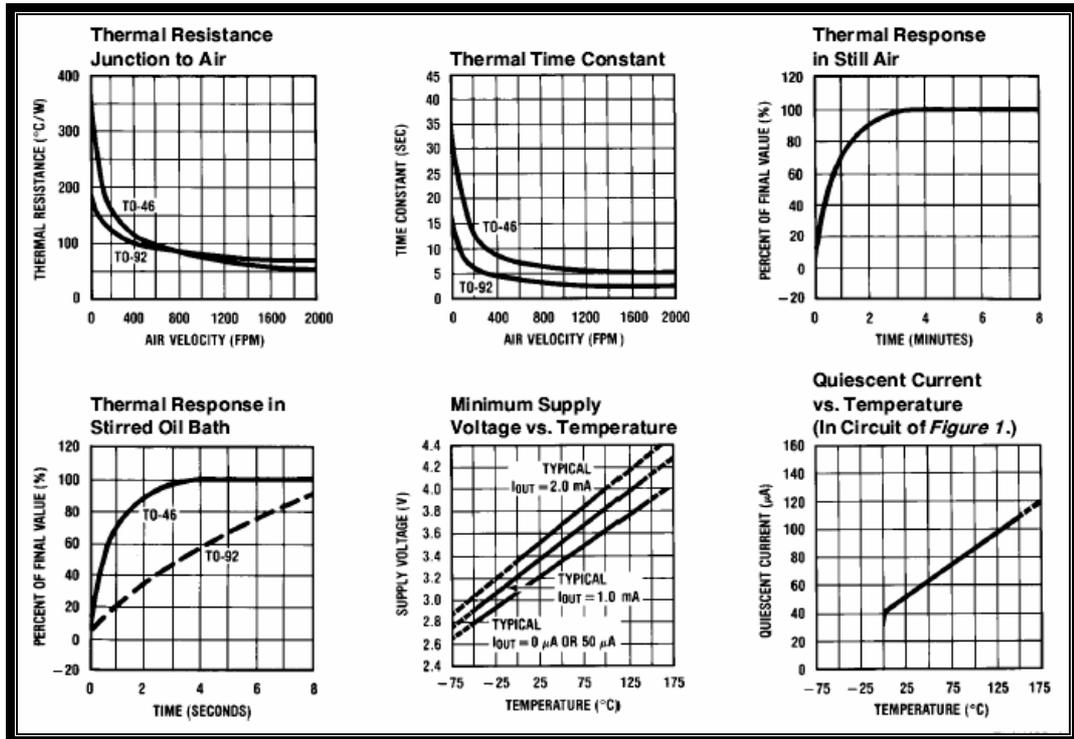


Figura 3.4.1 Características Típicas de funcionamiento del LM35

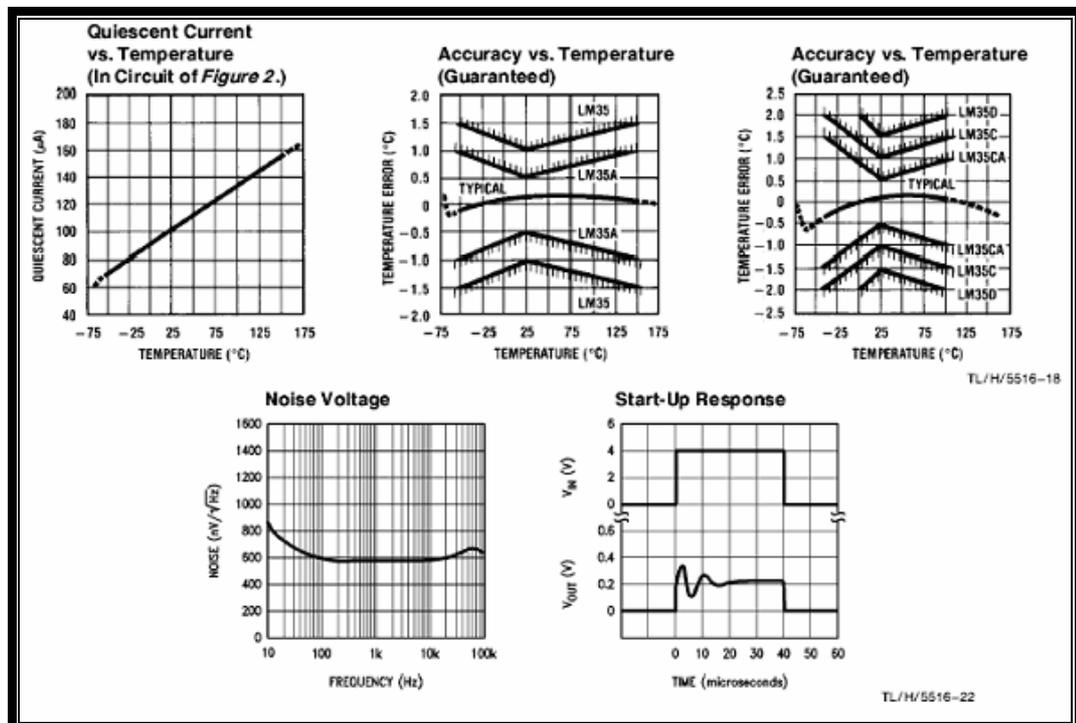


Figura 3.4.2 Características Típicas de funcionamiento del LM35

3.3 Sensores de iluminación

Resistor fotosensible (LDR) o fotoresistor¹⁶

Light Dependent Resistor - Resistencia dependiente de la luz

El LDR es una resistencia que varía su valor dependiendo de la cantidad de luz que la ilumina. Los valores de una fotoresistencia cuando está totalmente iluminada y cuando está totalmente a oscuras varía, puede medir de 50 ohmios a 1000 ohmios (1K) en iluminación total y puede ser de 50K (50,000 Ohms) a varios megaohmios cuando está a oscuras.

El LDR es fabricado con materiales de estructura cristalina, y utiliza sus propiedades fotoconductoras. Los cristales utilizados más comunes son: sulfuro de cadmio y seleniuro de cadmio.

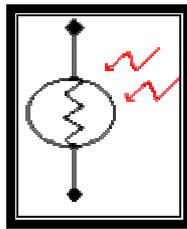


Figura 3.5. Símbolo de la fotoresistencia o LDR

El valor de la fotoresistencia (en Ohmios) no varía de forma instantánea cuando se pasa de luz a oscuridad o al contrario, y el tiempo que se dura en este proceso no siempre es igual si se pasa de oscuro a iluminado o si se pasa de iluminado a oscuro.

Esto hace que el LDR no se pueda utilizar en muchas aplicaciones, especialmente aquellas que necesitan de mucha exactitud en cuanto a tiempo para cambiar de estado (oscuridad a iluminación o iluminación a oscuridad) y a exactitud de los valores de la fotoresistencia al estar en los mismos estados anteriores. Su tiempo de respuesta típico es de aproximadamente 0.1 segundos.

Pero hay muchas aplicaciones en las que una fotoresistencia es muy útil. En casos en que la exactitud de los cambios no es importante como en los circuitos:

¹⁶ http://www.unicrom.com/Tut_ldr.asp

- Luz nocturna de encendido automático, que utiliza una fotoresistencia para activar una o más luces al llegar la noche.
- Relé controlado por luz, donde el estado de iluminación de la fotoresistencia, activa o desactiva un Relay (relé), que puede tener un gran número de aplicaciones

El LDR o fotoresistencia es un elemento muy útil para aplicaciones en circuitos donde se necesita detectar la ausencia de luz de día.

En la tabla 3.4. tenemos algunos tipos comerciales de LDR :

REFERENCIA	DESCRIPCION
N5AC08257	LDR-Fotoresistencia 4x5 mm 8 a 25 K ohmios
N5AC20508	LDR-Fotoresistencia 4x5 mm 20 a 50 K ohmios
LDR6M820	LDR-Fotoresistencia 6 mm 8/20 K
LDR6M45140	LDR-Fotoresistencia 6 mm 45/140 K
LDR20MPY20C48	LDR-Fotoresistencia 20 mm MKY20C48

Tabla 3.4. Tipos de LDR comerciales¹⁷.

3.4 Software a utilizar.

3.4.1 Simuladores

3.4.1.1 Protel 99 SE

Protel es un sistema de diseño completo para entornos Windows y proporciona un conjunto de herramientas integradas formadas por un gestor de documentos integrado, un capturador de esquemáticos, un simulador analógico basado en SPICE, un simulador digital basado en CUPL (lenguaje similar a ORCAD/PLD), una herramienta de diseño de placas de circuito impreso (PCBs) y soporte para trabajo en redes de ordenadores.

¹⁷ http://www.micropik.com/provisional/pag_sensores.htm

En Protel99 SE los programas servidores están agrupados en tres categorías:

a) Editores de documentos: Éstos son el Editor de Esquemas y el Editor PCB. El primero de ellos constituye la parte central o núcleo de referencia de todo el conjunto; de forma general el proceso de diseño electrónico comienza con la realización del esquema general o circuito electrónico; y la captura de un esquema es el proceso de definición de un circuito, o conjunto de los mismos, en un sistema de diseño asistido por ordenador; realizando la conexión de los elementos en forma física y mediante un fichero de Netlist (interconexión).

En principio el uso del capturador de esquemas es similar al método tradicional de dibujo, donde los símbolos normalizados de los elementos, que se encuentran en las correspondientes bibliotecas, se interconexionan entre sí. Pero usando el diseño asistido por ordenador se produce una automatización del proceso de dibujo, ya que es posible no sólo crear nuevos componentes a través del Editor de bibliotecas de símbolos, sino que la totalidad o parte del esquema puede formar parte de la correspondiente biblioteca de esquemas.

El segundo de los editores, Editor de Circuitos impresos, posibilita el enlace integral entre el diseño conceptual del circuito (esquema), y la expresión física del mismo obtenida a través de la placa PCB y el conexionado mediante pistas de los componentes del circuito.

b) Utilidades: Estos programas trabajan como módulos auxiliares de los editores de documentos. Por ejemplo, el Autorouter neuronal, que permite el trazado automático de las pistas, y el Analizador de integridad de las señales en la placa PCB, son bloques auxiliares del Editor PCB. Igualmente, el Simulador de circuitos permite construir un modelo matemático completo del circuito realizado con el Editor de esquemas, de manera que sea posible evaluar la respuesta ante un amplio margen de estímulos de entrada y parámetros ambientales. Este tipo de análisis precede a la etapa de realización física del prototipo, y permite detectar errores en la fase de desarrollo donde son más fáciles y menos costosos de solventar.

c) **Asistentes:** Actúan como Sistemas expertos que guían al usuario paso a paso a la hora de realizar operaciones complejas. En Protel99 SE hay múltiples asistentes; uno de ellos es el que permite crear de modo guiado encapsulados nuevos.

Por lo que se refiere a sus características más sobresalientes, son las siguientes:

- **Diseño multidimensional**, donde la parte central es el proyecto; éste enlaza los elementos del diseño entre sí, incluyendo los esquemas y ficheros VHDL, las librerías, los ficheros de interconexión (netlist) y PCB, etc.

El proyecto también almacena las opciones de diferentes niveles de acceso, los modos de conectividad entre esquemas, y la anotación de esquemas multicanal.

- **Modos de captura múltiples**. Protel99 SE proporciona un sistema de diseño integrado y versátil para los sistemas PCB. El diseño puede ser capturado utilizando esquemas, o una combinación de esquemas y sentencias VHDL para los diseños FPGA.

También soporta el llamado diseño multicanal, que permite manipular distintos editores de esquemas, manteniendo la estructura jerárquica de los canales, y editando un canal en cualquier momento o modificando el número de canales.

En Protel99 SE, se incluyen tres versátiles herramientas para la verificación y análisis del diseño electrónico:

- Simulador de circuitos compatible SPICE 3Í5/XSPICE.
- Simulador VHDL.
- Analizador de integridad de las señales en la PCB.

El **simulador de circuitos** utiliza una versión mejorada del lenguaje SPICE 3f5/XSPICE, permitiendo una gran precisión en la simulación de cualquier combinación de sistemas analógico-digitales. Éste incluye los análisis estándar: punto de operación, transitorios y análisis de señal AC; y también un buen número de análisis avanzados, entre los que podemos destacar los barridos de temperatura, DC, y ruido, así como el análisis de Montecarlo.

En lo referente al **simulador VHDL**, éste constituye un sistema completo para la compilación y ejecución de las descripciones del diseño VHDL: compilador, linkador y simulador; y permite un análisis funcional de los tiempos del diseño FPGA a través de una visión de las formas de onda y el análisis paso a paso del código VHDL.

El simulador también soporta post-colocación y simulación de ruteado, incluyendo el fichero de tiempos SDF que posibilita verificar que el diseño se encuentra dentro de las especificaciones.

Con el incremento en las prestaciones del analizador de integridad en las señales de la PCB, se facilita el diseño de PCBs de alta frecuencia con garantías de éxito; ya que es posible una simulación antes y después del ruteado de la placa.

En el primero de los casos (análisis pre-layout) se chequea la integridad de las señales durante la captura del esquema, indicando si se requieren terminaciones especiales para las pistas o la tecnología del dispositivo debe ser cambiada. Especificando una impedancia promedio por pista, el analizador chequea la integridad de las señales en un visor del osciloscopio virtual; y si encuentra problemas podemos explorar diferentes tecnologías para los dispositivos empleados; o los efectos de las diferentes terminaciones, utilizando un barrido de características para determinar el valor óptimo para el componente de terminación de pista.

En el segundo de los casos (análisis post-layout) se confirma, o no, que las señales ruteadas se encuentran dentro de las especificaciones. Los resultados se visualizan en dos potentes visores, uno analógico y otro digital.

En el proceso de transformación de las especificaciones lógicas del diseño en una implementación concreta, Protel99 SE proporciona una completa libertad para escoger la arquitectura FPGA y las familias de dispositivos más adecuados dentro de las siguientes firmas comerciales:

- Xilinx, 3k, 4k, 5k, 7k, 9,5k, Spartan, Virtex y serie Coolrunner.
- Altera Stratic, APEX, Cyclone, ACEX, FLEX, MAX y serie Excalibur.

- Actel ACT, 40Mx, 54Sx, ex, 500k y serie ProAsic.
- Atmel PLD.
- Lattice PLSI y serie ORCAD.
- Serie Quicklogic pASIC.
- Vantis CPLD.

Gestión integrada de los componentes, constituyendo el símbolo de esquema la representación básica, pero además de éste se añaden otros modelos del mismo: encapsulado (footprint), simulación, descripción VHDL y modelado de integridad de la señal.

Por ello al visualizar las propiedades del componente se representa no sólo su símbolo normalizado, sino los atributos modelados asociados al mismo; y ello se consigue mediante la creación de librerías integradas de componentes (library package), que incluye para cada componente un bloque único con el símbolo del elemento, el encapsulado, los modelos de integridad de las señales, de PSPICE y VHDL (si procede).

Sincronización del diseño entre el esquema y la PCB, de tal manera que cualquier cambio en uno de los dos documentos se transfiere y actualiza en el otro directamente y en ambos sentidos.

Generación de múltiples ficheros de salida necesarios para fabricar el Sistema electrónico: Gerber (fotoploteado), NCDRILL (taladrado automático de la PCB), Pick and Place (colocación automática de los componentes en la PCB), Planos de ensamblado, Listado de materiales, etc.

Autorouter neuronal integrado en el editor PCB, usando técnicas de inteligencia artificial para obtener placas de circuito impreso profesionales. En esta nueva versión, se incluyen nuevas estrategias de ruteado automático que permiten todos los encapsulados de montaje superficial (BGA, QFP y LCC), que pueden ejecutarse durante el autoruteado de forma interactiva para componentes, nets y conexiones. Igualmente es posible controlar y mantener la impedancia de las pistas en valores

prefijados, mediante la utilización combinada del calculador de impedancia y el autorouter.

Aumento de las posibilidades de colocación para los componentes sobre la PCB a través de la opción ROOM, que permite particionar el sistema como forma de aislar partes del circuito entre sí.

Trabajo con dos monitores, si la tarjeta gráfica lo permite (configuración dual) es posible visualizar la documentación en dos pantallas, eligiendo los archivos que serán visualizados en cada una de ellas.

3.4.1.2. Matlab

El nombre MATLAB proviene de *Matrix Laboratory*. Este software que fue inicialmente desarrollado para realizar operaciones con matrices muy fácilmente y ha evolucionado hasta convertirse en una herramienta muy popular en diversos campos de la ingeniería y la ciencia. MATLAB es un lenguaje de alto rendimiento para cálculo técnico. El mismo integra cálculo, visualización y programación en un entorno de fácil utilización en donde los problemas y las soluciones son expresados en una notación matemática familiar.

Los usos más típicos incluyen:

- Cálculos Matemáticos
- Desarrollo de Algoritmos
- Modelado, simulación y prototipos
- Gráficas Científicas e Ingenieriles

Entre una de las herramientas principales de Matlab, para el diseño y prueba de sistemas de control esta *SIMULINK*, que lo describimos a continuación.

Simulink

Simulink es un ambiente interactivo para modelar una amplia variedad de sistemas dinámicos, pudiendo ser estos lineales, no lineales, discretos, de tiempo continuo y sistemas mixtos. Permite realizar diagramas de bloques con operaciones *click-and-drag*, cambiar parámetros del modelo y visualizar resultados durante una simulación. Es también un sistema abierto, que permite al usuario escoger, adaptar y crear componentes o subsistemas. *Simulink* se apoya en el ambiente Técnico Computacional de MATLAB.

MATLAB y su grupo de *Toolboxes* ofrecen un conjunto amplio de herramientas de ingeniería y matemática para definir algoritmos, analizar datos y visualizar resultados. Juntos, *SIMULINK* y MATLAB proveen un entorno integrado para construir modelos versátiles y simular dinámicos, diseñando y testeando ideas nuevas.

Simulación y análisis

Simulink y los *Toolboxes* de Matlab permiten moverse sobre varios niveles de modelado diseño y simulación. Se pueden utilizar los modelos *Simulink* para simulación, linealización del modelo, determinación de los puntos de equilibrio, optimización de parámetros y análisis.

Simulación

Los diagramas de bloques *Simulink* facilitan un entorno interactivo para la simulación de sistemas lineales, no lineales y discretos. La simulación se puede realizar desde menús descolgables o desde la línea de comandos de Matlab. Los resultados pueden ser vistos durante la simulación usando osciloscopios (*Scopes*) o bloques gráficos (*Graph blocks*); y grabados en un archivo o transferidos al espacio de trabajo de Matlab para su posterior análisis o procesamiento.

Simulink permite realizar el análisis de modelos cambiando los parámetros del mismo mientras se lleva a cabo la simulación.

Modelado

Representación de sistemas dinámicos con diagramas de bloque

Simulink permite desarrollar modelos de sistemas dinámicos mediante ecuaciones y diagramas de bloque.

Se pueden crear modelos lineales o no lineales, de tiempo discreto o continuo, o modelos híbridos utilizando “drag and drop” (arrastrar y dejar) para mover los componentes desde una biblioteca de bloques y conectándolos entre sí usando el mouse.

Librería de bloques

La librería de Bloques de Simulink contiene centenares de componentes agrupados de la siguiente manera:

Sources (fuente),

Sinks (visualizadores / salidas),

Discrete (discreto),

Linear (lineal),

Nonlinear (no lineales),

Blocksets & Toolboxes (herramientas extra).

Los bloques de entradas y de salidas se usan para intercambiar vectores entrada-salida de simulación con el entorno MATLAB y archivos de datos. Los bloques de tiempo discreto permiten modelar y simular subsistemas con datos muestreados tales como sistemas de control digital y procesamiento de señales.

Operabilidad sobre distintas plataformas

Simulink corre sobre MS-Windows, plataformas Macintosh, estaciones de trabajo UNIX, y plataformas VMS que son sistemas operativos estándar usados en la industria. Los modelos de Simulink pueden transferirse de una plataforma a otra conservando sus características y funcionalidades. Los modelos de Simulink son compatibles con software de control estándar.

Biblioteca de bloques simulink

Entre los bloques más importantes de cada biblioteca se encuentran los siguientes:

Sources:

Sine wave, ramps and squares waves (ondas senoidales, rampas y cuadradas).

Noise (Ruido).

Sinks:

Scopes and graph blocks (osciloscopios y bloques gráficos).

File output (salidas hacia archivos).

Output to the Matlab Workspace (salidas hacia el espacio de trabajo de Matlab)

Discrete:

Transfer functions and state-space blocks (bloques de función transferencia y espacio de estados).

Linear:

Transfer functions, state-space, gain blocks (bloques de función transferencia, espacio de estados y ganancia)

Nonlinear:

Limiters, hysteresis blocks, and quantizers (limitadores, bloques histéresis, y cuantizadores).

Logical and relational operators (operadores lógicos y relacionales).

Connections:

Multiplexing and demultiplexing blocks (bloques multiplexores y demultiplexores).
Input ports and output ports (puertos de entrada y salida).

BlockSets & Extras:

Simulink_extras (librerías de bloques extras entre las que se encuentran bloques extras visualizadores, discretos, lineales, transformaciones, flips-flops y bloques para linealización).

Los BlockSets que aparezcan dependerán de los Toolboxes que se encuentren instalados.

Estos últimos mencionados (Blocksets), son colecciones de bloques Simulink que se agrupan en bibliotecas separadas y se corresponden con los Toolboxes de Matlab instalados.

3.4.1.3. Pspice 6.0

El origen del simulador SPICE puede remontarse a hace más de treinta años. A mediados de la década de los 60 IBM desarrolló el programa ECAP, que más tarde serviría como punto de partida para que la Universidad de Berkeley desarrollara el programa CANCER. Hasta principios los años 70 los circuitos electrónicos se analizaban casi exclusivamente de forma manual, mientras que de forma progresiva, la complejidad de éstos iba en aumento. Fue en ese momento cuando un grupo de la Universidad de Berkeley, tomando como base el programa CANCER, desarrolló la primera versión de SPICE (Simulation Program with Integrated Circuits Emphasis). Un simulador de propósito general que permitía analizar sobre grandes ordenadores y workstations, circuitos analógicos sin necesidad de montarlos físicamente.

En SPICE el circuito y análisis requerido es descrito en un fichero de texto mediante una serie de comandos y declaraciones, a este fichero se le llama fichero del circuito. La sintaxis de las declaraciones permite dejar parámetros sin especificar con lo que

tomarán valores por defecto. El fichero del circuito es leído por SPICE, éste comprueba que no hay errores en las conexiones y sintaxis declaradas, y finalmente hará la simulación.

El éxito alcanzado por el programa, así como por su utilización generalizada, originó la aparición de numerosas versiones de SPICE. En 1984 nace de manos de MicroSim Corporation la primera adaptación para ordenadores personales: PSpice. Desde entonces, PSpice ha ido renovándose hasta llegar a la versión número 9, de reciente lanzamiento. Esta revisión del simulador es la primera desde la fusión de MicroSim Corporation y OrCAD.

SPICE está considerado como el estándar en análisis electrónico. Es referencia y base de numerosos simuladores del mercado.

Desing manager

El conjunto de aplicaciones que componen el simulador está agrupado en un centro de diseño, Design Manager. De esta forma se proporciona un entorno integrado para simulación y análisis de circuitos analógicos, digitales y mixtos. En cierto modo, es realmente un conjunto de programas especializados donde todos trabajan juntos para crear un entorno de desarrollo EDA (Electronics Design Automation) potente. Los programas que contiene son:

- Schematics
- PSpice A/D
- PSpice Optimizer
- Parts
- Probe
- Stimulus Editor
- MicroSim TextEdit

Con Design Manager resulta fácil realizar operaciones de gestión de los ficheros utilizados por las distintas aplicaciones, ya que detecta las relaciones de dependencia entre ellos. Con lo que no correremos el riesgo de perder un fichero necesario para

un determinado diseño, al cambiarlo de carpeta. Los ficheros están agrupados creando diferentes entornos de trabajo.

Schematics

Es la aplicación que primero utilizaremos al diseñar cualquier circuito, ya que es el capturador de esquemas. Con el capturador introducir y editar el esquema del circuito es una tarea sencilla que usa la técnica de arrastrar y soltar con el ratón. De esta forma la posibilidad de hacer conexiones erróneas o dejar nodos flotantes es menor que si introdujéramos el esquema en modo texto en el fichero del circuito.

Schematics es el encargado en generar el fichero del circuito, de extensión .CIR, a partir del esquema que hemos introducido y que será guardado con extensión .SCH. El fichero de extensión .CIR es el que es legible para el simulador.

Cada uno de los dispositivos que podemos seleccionar, arrastrar y soltar en Schematics no son más que símbolos gráficos que nos son útiles a nosotros para representar un esquema eléctrico. Estos símbolos tienen asociados una serie de atributos, que son los que realmente definen sus características. Schematics dispone de una herramienta capaz de editar símbolos, de forma que podemos añadir, quitar o modificar los atributos de un símbolo o definir nuestra propia librería de símbolos. Algunos atributos son modificables desde Schematics haciendo doble clic sobre el símbolo, por ejemplo el valor óhmico de un resistor.

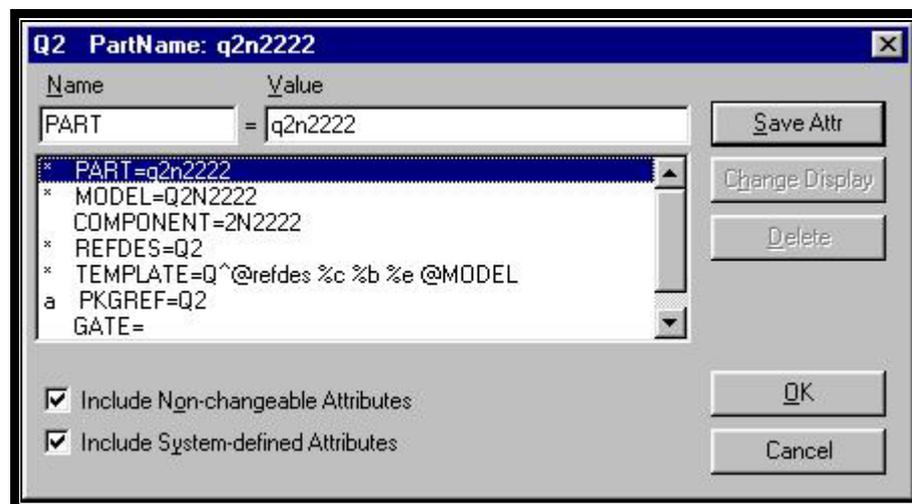


Figura 3.6. Atributos del 2N2222 en PSpice

En la figura anterior podemos ver algunos atributos asociados a un transistor bipolar, los que están señalados con asterisco sólo podrán ser modificados desde el editor de símbolos, el resto pueden modificarse desde Schematics.

El atributo más importante es MODEL ya que determina el modelo eléctrico asociado al símbolo, tanto puede ser un modelo específico de PSpice (diodo, transistor bipolar, FET, etc.) como un subcircuito. El valor de MODEL debe coincidir exactamente con el nombre de la definición .MODEL o .SUBCKT que está en una librería de modelos. Las librerías de modelos son ficheros con extensión .LIB.

Otro atributo de importancia es TEMPLATE ya que define la correspondencia entre los pines del símbolo y los del modelo eléctrico, por tanto un error en esta correspondencia dará resultados erróneos. En *Schematics User's Guide*, que se proporciona en formato PDF con el simulador, puede encontrarse una lista completa de atributos.

Tipos de análisis y configuración

Schematics permite seleccionar el tipo de análisis que deseemos del circuito así como las opciones para éste desde la ventana *Analysis Setup*.

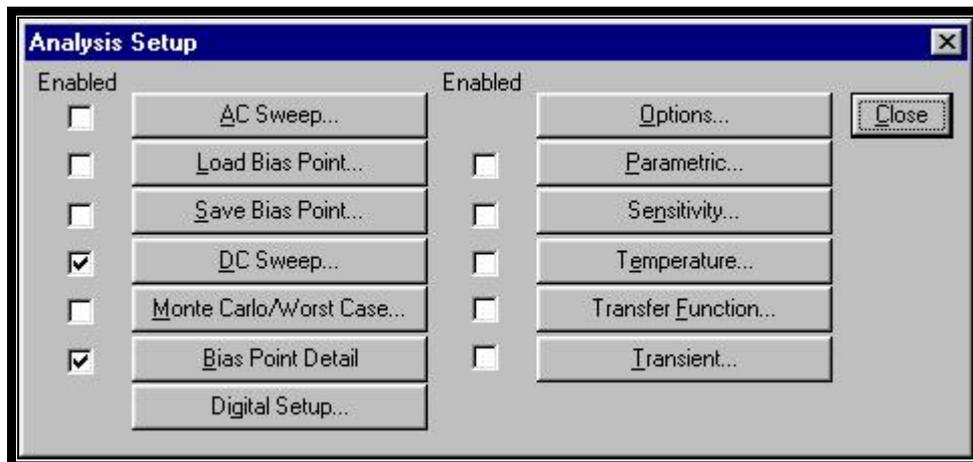


Figura 3.7. Ventana Análisis Setup

Barrido en AC y análisis de ruido. El barrido en AC es un análisis en frecuencia que calcula la respuesta en pequeña señal del circuito, linealizado entorno al punto de polarización, en el rango de frecuencias especificado.

El análisis de ruido calcula las contribuciones de ruido de cada dispositivo.

Cargar y salvar el punto de polarización. Permiten restablecer y salvar en un fichero los cálculos del punto de polarización en sucesivas simulaciones.

Barrido en continua. Hace un análisis en continua realizando un barrido de la variable especificada, que puede ser una fuente de tensión o de corriente, el parámetro de un modelo o incluso la temperatura, en el rango de valores especificado para dicha variable. El análisis puede ser anidado.

Análisis Monte Carlo y peor caso. Realizan análisis de tipo estadístico que actúan sobre las variaciones de los valores de los componentes conforme a su tolerancia.

Punto de polarización detallado. Al seleccionarlo se indica al programa que calcule el punto de polarización del circuito y que los valores de polarización de las fuentes y de los dispositivos sean enviados al fichero de salida, de extensión .OUT.

Configuración digital. En este apartado se especifican los estados iniciales de biestables, el tipo de retardo temporal utilizado en los dispositivos digitales (mínimo, típico o máximo), y los modelos de adaptación de variables analógicas a digitales. Es decir, podemos seleccionar el tipo de circuito interfaz utilizado y así indicar si queremos evitar los estados intermedios R, F y X, de los dispositivos digitales.

Opciones. Permiten establecer las opciones, límites y parámetros de control, para diferentes análisis. Hay dos tipos de opciones: aquellas que especifican un valor numérico, y aquellas que indican la activación o no de una opción.

Análisis paramétrico. Será útil cuando nos interese conocer como varía la respuesta de un circuito en función de los valores que, en forma de incrementos, va tomando algún parámetro de un dispositivo, o el valor de un componente, o la temperatura, etc.

Análisis de sensibilidad en Continua. Calcula la sensibilidad en continua de cada una de las variables de salida que definamos, respecto de los dispositivos del circuito

así como de sus parámetros. La información resultante de este análisis es recogida en el fichero .OUT de salida.

Temperatura. Permite ajustar la temperatura a la que es analizado el circuito. En PSpice la temperatura por defecto es de 27°C.

Función de transferencia en pequeña señal. Calcula y envía al fichero de salida, la ganancia en pequeña señal, la resistencia de entrada y la resistencia de salida. Si el circuito no es lineal entonces primero halla el modelo equivalente linealizando el circuito entorno al punto de polarización.

Análisis transitorio. Proporciona la respuesta del circuito en función del tiempo, en el intervalo especificado.

Limitaciones. En la versión de evaluación, *Schematics* presenta las siguientes restricciones:

- El tamaño máximo de la página de diseño es A4.
- El número máximo de símbolos en un esquema es de 25.
- Sólo pueden configurarse nueve librerías de símbolos.
- El número máximo de símbolos en la librería creada por el usuario es 20.
- Las librerías de ejemplo constan de 22 componentes analógicos y 140 digitales.

PSpice A/D.

Constituye el auténtico simulador y se puede decir que el resto de aplicaciones giran entorno a él. Permite la simulación de circuitos analógicos, digitales y mixtos. A partir del fichero del circuito genera los ficheros de salida de extensión .OUT y el de datos con extensión .DAT, que será utilizado Probe.

Limitaciones. En la versión de evaluación, PSpice A/D presenta las siguientes restricciones:

- 64 nodos como máximo.

- 10 transistores.
- 2 amplificadores operacionales.
- 65 puertas básicas (o primitivas) o una combinación de éstas en los dispositivos digitales.
- 10 líneas de transmisión ideales con no más de 4 no ideales (líneas con pérdidas, RLGC) y 4 líneas acopladas.

PSpice Optimizar.

Esta aplicación calcula el valor unos parámetros del circuito para que éste cumpla una serie de condiciones. Es decir, que PSpice Optimizer, mediante llamadas a PSpice A/D, realiza simulaciones de forma iterativa ajustando los valores de los parámetros hasta que se cumpla la función objetivo definida bajo una serie de restricciones. Se puede prescindir de restricciones si no es necesario imponerlas.

Por ejemplo, si partimos de un circuito serie constituido por un pila de 5 voltios, una resistencia y un diodo, podemos definir como función objetivo que la corriente sea 1mA con un rango variación de 5 uA. El parámetro tomado será el valor de la resistencia y la restricción que la potencia disipada en el resistor sea mayor o igual que 4 mW. Dependiendo de la restricción impuesta se puede llegar a un valor del parámetro que satisfaga las condiciones impuestas o no, es decir, puede haber o no haber solución.

Limitaciones. En la versión de evaluación del simulador sólo podemos definir una función objetivo, un parámetro y una restricción.

Parts

Con la utilidad Parts podemos ampliar nuestra librería de componentes analógicos sin más que introducir la información que los fabricantes proporcionan en las *data sheets* u hojas de datos. Es decir, Parts convierte automáticamente estos datos en un modelo básico de PSpice utilizando la declaración .MODEL, o en un subcircuito usando .SUBCKT. Parts puede proporcionar gráficas de las características del dispositivo a modelar.

Limitaciones. En la versión de evaluación del simulador la herramienta de modelado de dispositivos está limitada a la extracción de parámetros de diodos.

Probe

Es un analizador de formas de onda de PSpice que permite visualizar de forma interactiva los resultados de la simulación empleando gráficos de alta resolución. Probe representa no sólo simples formas de onda como tensiones y corrientes sino también complejas expresiones aritméticas, implicando a dichas señales, e incluso la transformada de Fourier. Probe lee los datos de las señales del fichero .DAT que genera PSpice.

En simulaciones mixtas Probe puede visualizar formas de onda analógicas y digitales simultáneamente con una base de tiempos común. Podríamos decir que Probe es un *osciloscopio software*.

Probe permite la definición de macros y funciones objetivo (*goal functions*). Las funciones objetivo calculan un valor simple de una forma de onda de Probe, tal como el ancho de un impulso, el tiempo de subida de una señal, el pico máximo, etc. Las funciones objetivo de Probe pueden ser utilizadas por Optimizer.

Stimulus editor

El editor de estímulos es una herramienta que nos permite de forma fácil y sencilla crear estímulos o formas de onda de entrada para nuestros circuitos. Las formas de onda analógica pueden ser senoidales, impulsos, exponenciales, FM de frecuencia única y lineal a tramos. Las digitales pueden ser señales de reloj o cualquier secuencia digital.

Limitaciones. En su versión de evaluación sólo se pueden editar señales analógicas senoidales y digitales de reloj. Con estas limitaciones el editor de estímulos será útil en muy pocos casos, de hecho no ha sido utilizado en la realización del presente proyecto.

Textedit

Es un editor de texto con el que podremos introducir los modelos y subcircuitos proporcionados por los fabricantes de dispositivos o la bibliografía relacionada con el simulador. Será especialmente útil para modelar los dispositivos que Parts, por sus limitaciones no nos permite y editar nuestras propias librerías. Con suficientes conocimientos es posible editar el fichero del circuito (.CIR) sin necesidad de utilizar Schematics.

3.4.1.4. LabVIEW 6.1

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) es una herramienta gráfica de test, control y diseño mediante la programación. Este programa fue creado por National Instruments (1976) para funcionar sobre máquinas MAC, salió al mercado por primera vez en 1986. Ahora está disponible para las plataformas Windows, UNIX, MAC y Linux .

Los programas hechos con LabVIEW se llaman VI (*Virtual Instrument*), lo que da una idea de uno de sus principales usos: el control de instrumentos. El lema de LabVIEW es: "La potencia está en el *Software*". Ésto no significa que la empresa haga únicamente software, sino que busca combinar este software con todo tipo de hardware, ya sean propios o de otras empresas.

Principales usos

Es usado principalmente por ingenieros y científicos para tareas como:

- Adquisición de datos
- Control de instrumentos
- Automatización industrial o PAC (Controlador de Automatización Programable)
- Diseño de control: prototipos rápidos y hardware en bucle (HIL)

Principales características

Su principal característica es la facilidad de uso, personas con pocos conocimientos en programación pueden hacer programas relativamente complejos, imposibles para ellos de hacer con lenguajes tradicionales. También es muy rápido hacer programas con LabVIEW y cualquier programador, por experimentado que sea, puede beneficiarse de él. Para los amantes de lo complejo, con LabVIEW pueden crearse programas de miles de VIs (páginas de código) para aplicaciones complejas, programas de automatizaciones de decenas de miles de puntos de entradas/salidas, etc. Incluso existen buenas prácticas de programación para optimizar el rendimiento y la calidad de la programación.

Presenta facilidades para el manejo de:

- Interfaces de comunicaciones:
 - Puerto serie
 - Puerto paralelo
 - GPIB
 - PXI
 - VXI
 - TCP/IP, UDP, DataSocket
 - IrDA
 - Bluetooth
 - USB
- Capacidad de interactuar con otras aplicaciones:
 - dll
 - ActiveX
 - Matlab
 - Simulink
- Herramientas para el procesamiento digital de señales.
- Visualización y manejo de gráficas con datos dinámicos.
- Adquisición y tratamiento de imágenes.
- Control de movimiento.
- Tiempo Real estrictamente hablando.
- Programación de FPGAs.

- Sincronización.

Programas en Labview

Como se ha dicho es una herramienta gráfica de programación, esto significa que los programas no se escriben, sino que se dibujan.

Un programa se divide en Panel Frontal y Diagrama de bloques. El Panel Frontal es el interfaz con el usuario figura 3.8, en él se definen los controles e indicadores que se muestran en pantalla. El Diagrama de Bloques es el programa propiamente dicho figura 3.9, donde se define su funcionalidad, aquí se colocan iconos que realizan una determinada función y se interconectan.

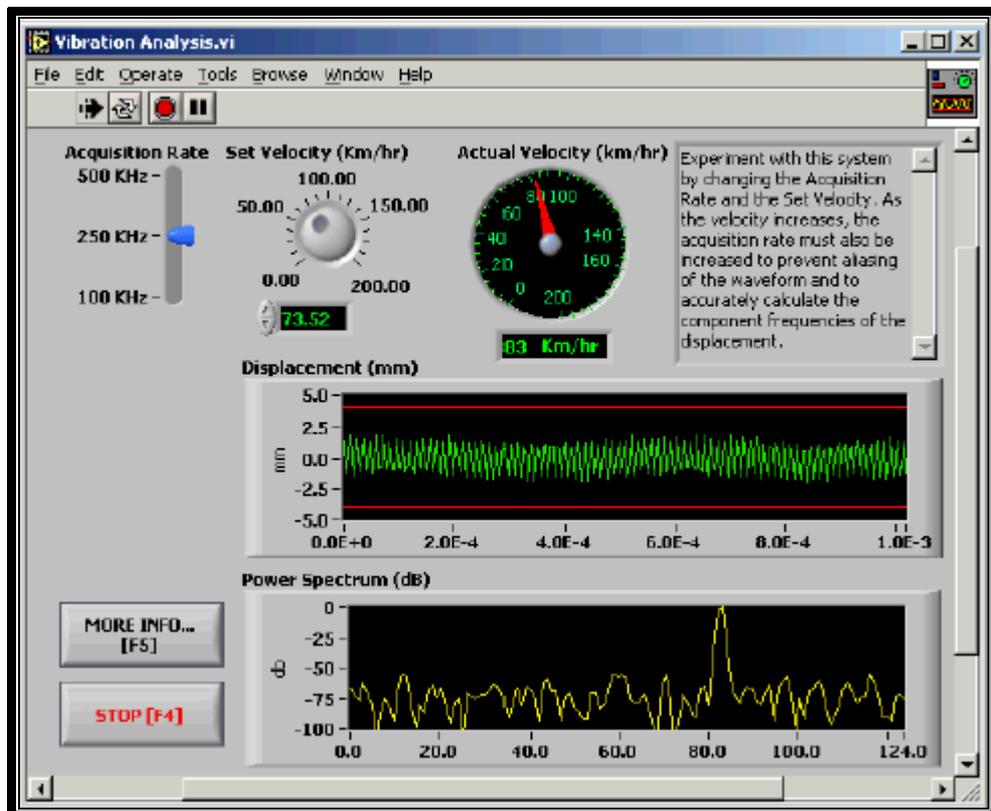


Figura 3.8. Panel Frontal de un VI

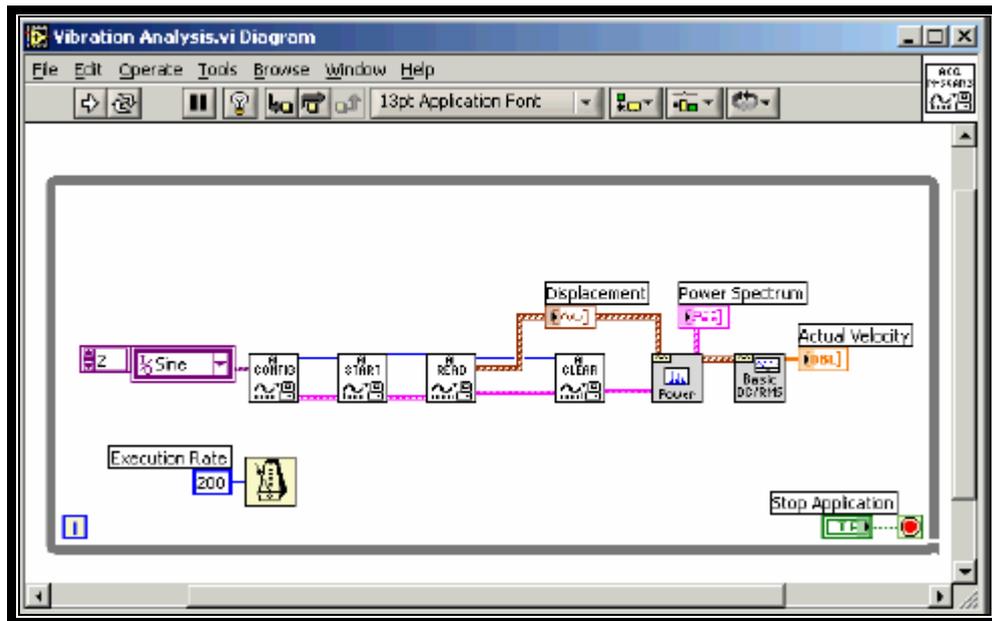


Figura 3.9. Diagrama de bloques de un VI

3.4.1.5. Mplab ide version 6.13.0.0

MPLAB IDE v6.13.0.0 es un programa de desarrollo basado en Windows, para las familias de microcontroladores PIC de Microchip Technology Incorporated (MCU) y familias de controladores de señal digital dsPIC (DSC). En el MPLAB IDE, se puede:

- Crear el código fuente usando el editor.
- Ensamblar, compilar y vincular el código fuente, usando las diversas herramientas de lenguaje. El ensamblador, el linker y las bibliotecas vienen con MPLAB IDE. El compilador C se lo puede encontrar en Microchip y con otros vendedores.
- Debug la lógica ejecutable del flujo del programa con un simulador, como MPLAB SIM; o en tiempo real con un emulador, como MPLAB ICE u otros compatibles con MPLAB IDE.
- Hacer medidas de tiempo.
- Ver las variables en la ventana Watch.

- Programar dispositivos con programadores como PICSTART PLUS o PROMATE II.

MPLAB IDE, contiene las siguientes herramientas de trabajo:

- Herramientas del Lenguaje
 - Herramientas de Lenguaje dsPIC (Dispositivos dsPIC DSC)
 - Herramientas de Lenguaje Microchip (Dispositivos PICmicro MCU, KeeLoq y Memorias).
 - Herramientas de Lenguaje Hi-Tech (Dispositivos PICmicro MCU)
- Editor
- Simulador
- Emulador In-Circuit
- In-Circuit Debuggers
- Programadores

Herramientas de Lenguaje dsPIC (Dispositivos dsPIC DSC)

El lenguaje dsPIC, está diseñado para controladores de señal digital (DSC) tabla 3.5, esta herramienta contiene:

Herramienta	Nombre	Ejecutable
Compilador C	MPLAB C30	pic30-gcc
Assembler	MPLAB ASM30	pic30-as
Linker	MPLAB LINK30	pic30-ld

Tabla 3.5. Contenido de Herramientas de Lenguaje dsPIC¹⁸.

Herramientas de Lenguaje Microchip (Dispositivos PICmicro MCU, KeeLoq y Memorias).

El lenguaje PICmicro MCU, soporta PICmicro MCU, memorias Microchip y dispositivos KeeLoq tabla 3.6, esta herramienta contiene:

¹⁸ Ayuda de MpLab ID.

Herramienta	Nombre	Ejecutable
Compilador C – dispositivos PIC18CXXX	Compilador C MPLAB C18	mcc18
Assembler	MPASM Assembler	Mpasmwin
Linker	MPLINK Object Linker	Mplink

Tabla 3.6. Contenido de Herramientas de Lenguaje Microchip¹⁸.

Herramientas de Lenguaje Hi-Tech (Dispositivos PICmicro MCU)

MPLAB IDE soporta los siguientes lenguajes tabla 3.7:

Herramienta	Nombre	Ejecutable
Compilador C, Assembler, Linker – dispositivos midrange PICMICRO	PICC	picc.exe
Compilador C, Assembler, Linker – Dispositivos PIC18XXXXX	PICC18	picc18.exe
Compilador C, Assembler, Linker – solo dispositivos PIC16F8X	PICC Lite	picl.exe
Compilador C, Assembler, Linker - funcionalidad limitada	PICC de Demostración	picc.exe

Tabla 3.7. Contenido de Herramientas de Lenguaje Hi-Tech¹⁸.

MPLAB Editor

El MPLAB IDE y el Editor MPLAB se diseñaron para mediante un método fácil y rápido desarrollar programas para productos de la familia PIC MCU de Microchip

Technology Incorporated's. El Editor de MPLAB es una parte de MPLAB IDE. El editor esta solo disponible cuando esta corriendo MPLAB IDE.

Simuladores

MPLAB tiene los siguientes simuladores tabla 3.8:

Simulador	Dispositivos Simulados
MPLAB SIM	PICMICRO MCUS
MPLAB SIM30	Dispositivos dsPIC

Tabla 3.8. Simuladores que contiene MPLAB IDE¹⁸.

Emulador In-Circuit

MPLAB IDE soporta el siguiente emulador tabla 3.9:

EMULADOR	DISPOSITIVO EMULADO
MPLAB ICE 2000	PICmicro MCUs

Tabla 3.9. Emulador de MPLAB IDE¹⁸.

MPLAB ICE 2000

MPLAB ICE 2000 es un emulador In – Circuit, diseñado para emular todo dispositivo PIC MCU. Usa los últimos procesos de emulación para proveer una rápida emulación y visibilidad entre cada instrucción y ver el comportamiento de los datos durante la ejecución.

MPLAB ICE 2000 desempeña funciones básicas como ejecutar un programa, detener el proceso, ejecución paso a paso, realizar breakpoints mediante software y un puntero de dirección de instrucción. Además, los emuladores desempeñan funciones avanzadas tales como monitoreo de datos.

In-Circuit Debuggers

MPLAB IDE soporta los siguientes in-circuit debuggers tabla 3.10:

Debugger	Dispositivos Soportados
MPLAB ICD 2	PICmicroFlash MCU's

Tabla 3.10. Debugger de MPLAB IDE¹⁸.

MPLAB ICD 2

El MPLAB ICD 2 es un in-circuit debugger (ICD) de bajo costo y así mismo el in-circuit serial programmer (ICSP), también es de bajo costo.

El MPLAB ICD 2 ofrece estas características:

- Ejecución del código en tiempo real y paso a paso.
- Tanto los Breakpoints, Registros y Variables se pueden ver y modificar.
- Monitorear el target Vdd.
- Diagnóstico vía LEDs.
- MPLAB IDE usa el interfaz serial RS - 232 o el interfaz USB de interfaz para conectarse a una computadora.

Programadores

MPLAB IDE trabaja con los siguientes programadores tabla 3.11:

PROGRAMADOR	DISPOSITIVOS PROGRAMADOS
PRO MATE II	PICmicro MCU, Memorias, KeeLoq
PICSTART Plus	PICmicro MCUs
MPLAB ICD 2	PICmicro Flash MCUs

Tabla 3.11. Programadores que soporta MPLAB IDE¹⁸.

CAPITULO 4:

Detalle del funcionamiento del invernadero.

4.1 Diseño del modelo matemático del sistema de control.

Modelado matemático del Sistema de ventilación aplicado a la maqueta del invernadero.

Los datos que se observan en la tabla 4.1 corresponden a los obtenidos en lazo abierto del sistema de ventilación. La variable de entrada es el voltaje aplicado al ventilador, mientras que la variable de salida es la temperatura, medida por el sensor LM35. La variable de entrada fue sujeta a un cambio de tipo escalón de 0% al 49%.

t [seg]	Tem [°C]	Potencia [W] Ventilador
0	61.0	0
5	52.1	49
10	45.8	49
15	41.4	49
20	38.2	49
25	36.0	49
30	34.4	49
35	33.2	49
40	32.4	49
45	31.8	49
50	31.4	49
55	31.2	49
60	31.0	49
65	30.8	49
70	30.7	49
75	30.6	49
80	30.6	49
85	30.5	49
90	30.5	49
95	30.5	49
100	30.5	49

Tabla 4.1 datos obtenidos experimentalmente del Ventilador

A partir de la respuesta dinámica mostrada en la figura 4.1 puede notarse que la respuesta del sistema puede aproximarse a una función de transferencia de primer orden sin retardo.

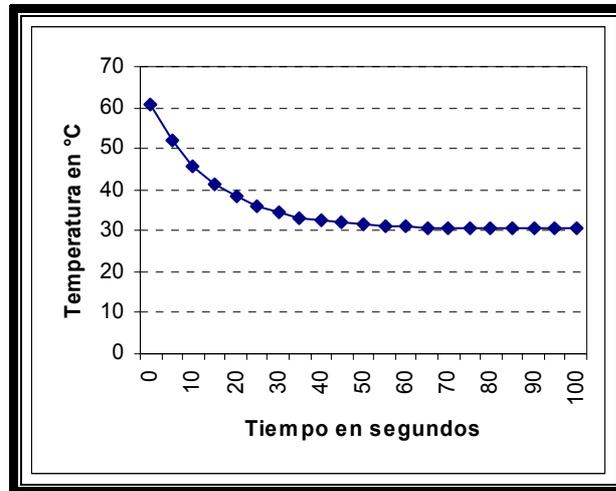


Figura 4.1. Salida de temperatura para un cambio tipo escalón del 49% aplicado en el Sistema de ventilación.

Solución analítica. La ganancia a lazo abierto está dada por:

$$K = \frac{y_{\infty} - y_0}{u_{\infty} - u_0}$$

de los datos obtenidos experimentalmente tabla 4.1, tenemos:

$$y_0 = 38.3$$

$$y_{\infty} = 30.5$$

$$u_0 = 0$$

$$u_{\infty} = 49$$

por lo cual,

$$K = \frac{30.5 - 38.3}{49 - 0} = \frac{-7.8}{49} = -0.16 \frac{^{\circ}\text{C}}{V}$$

La constante de tiempo a lazo abierto esta data por:

$$\tau = - \frac{t}{\ln\left(\frac{y_{\infty} - y_t}{y_{\infty}}\right)}$$

de los datos obtenidos experimentalmente tabla 4.1 podemos seleccionar arbitrariamente el punto $t = 30$ seg. A este tiempo tenemos:

$$y_t = 31.5 - 38.3 = -6.8$$

por lo tanto:

$$\tau = - \frac{30}{\ln\left(\frac{(30.5 - 38.3) - (-6.8)}{(30.5 - 38.3)}\right)} = 14.6$$

Simulación del Modelado Matemático del sistema de Ventilación.

De los datos obtenidos anteriormente tabla 4.1 obtenemos la ecuación:

$$G(s) = \frac{-0.16}{14.6s + 1}$$

la cual servirá para simular la respuesta al impulso del sistema a lazo abierto figura 4.2-4.3, con la ayuda de Simulink que está disponible en MatLab.

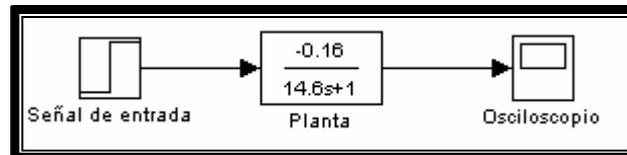


Figura 4.2 Respuesta de la Planta al impulso al impulso del Sistema de Ventilación.

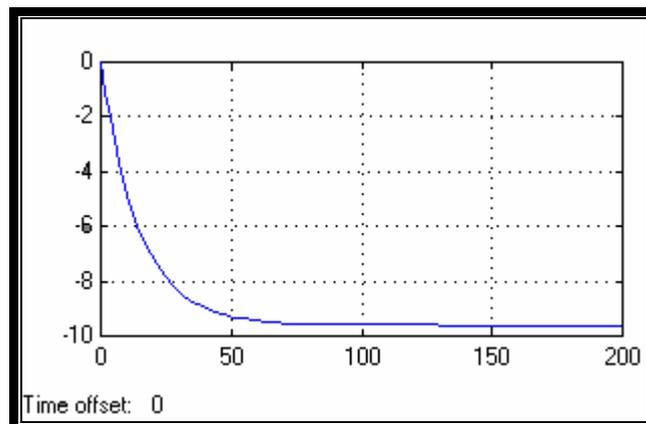


Figura 4.3 Gráfico de la respuesta al impulso del sistema de Ventilación

Modelado matemático del Sistema de calefacción aplicado a la maqueta del invernadero.

Los datos que se observan en la tabla 4.2 corresponden a los obtenidos en lazo abierto del sistema de calefacción. La variable de entrada es el voltaje aplicado a la niquelina mientras que la variable de salida es la temperatura medida por el sensor LM35. La variable de entrada fue sujeta a un cambio de tipo escalón de 0% al 60% .

t [seg]	Tem [°C]	Potencia [W] Niquelina
0	30.0	0
5	35.0	60
10	39.5	60
15	43.5	60
20	47.0	60
25	50.1	60
30	52.9	60
35	55.3	60
40	57.5	60
45	59.4	60
50	61.1	60
55	62.6	60
60	63.9	60
65	65.1	60
70	66.1	60
75	67.1	60
80	67.9	60
85	68.6	60
90	69.2	60
95	69.8	60
100	70.3	60
105	70.7	60
110	71.1	60
115	71.5	60
120	71.8	60
125	72.1	60
130	72.1	60
135	72.1	60
140	72.1	60

Tabla 4.2 datos obtenidos mediante la simulación dinámica de la Niquelina

A partir de la respuesta dinámica mostrada en la figura 4.4 puede notarse que la respuesta del sistema puede aproximarse a una función de transferencia de primer orden sin retardo.

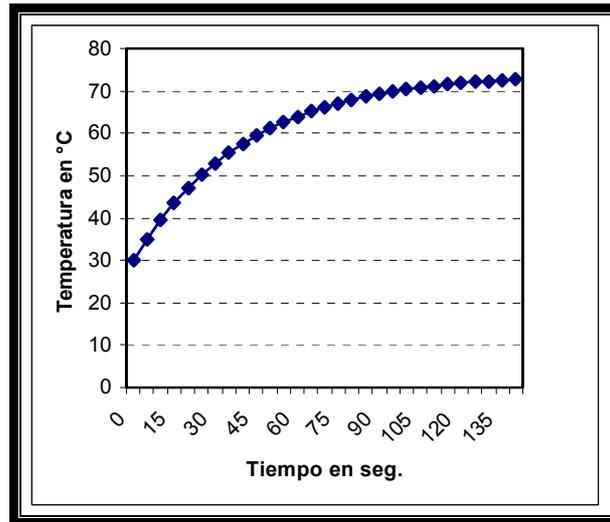


Figura 4.4. Salida de temperatura para un cambio tipo escalón del 60% aplicado en el Sistema de Calefacción.

Solución analítica. La ganancia a lazo abierto está dada por:

$$K = \frac{y_{\infty} - y_0}{u_{\infty} - u_0}$$

de los datos obtenidos experimentalmente tabla 4.2 tenemos:

$$y_0 = 29$$

$$y_{\infty} = 44.2$$

$$u_0 = 0$$

$$u_{\infty} = 60$$

por lo cual,

$$K = \frac{44.2 - 29}{60 - 0} = \frac{15.2}{60} = 0.25 \frac{^{\circ}C}{V}$$

La constante de tiempo a lazo abierto esta dada por :

$$\tau = - \frac{t}{\ln\left(\frac{y_{\infty} - y_t}{y_{\infty}}\right)}$$

del conjunto de datos obtenidos experimentalmente tabla 4.2, podemos seleccionar arbitrariamente el punto $t = 30$ seg. A este tiempo:

$$y_i = 36.9 - 29 = -7.9$$

por lo tanto:

$$\tau = - \frac{30}{\ln\left(\frac{(44.2 - 29) - (7.9)}{(44.2 - 29)}\right)} = 41$$

Simulación del Modelado Matemático del sistema de Calefacción.

De los datos obtenidos anteriormente tabla 4.2 obtenemos la ecuación:

$$G(s) = \frac{0.25}{41s + 1}$$

la cual servirá para simular la respuesta al impulso del sistema a lazo abierto figura 4.5-4.6, con la ayuda de Simulink que está disponible en MatLab.

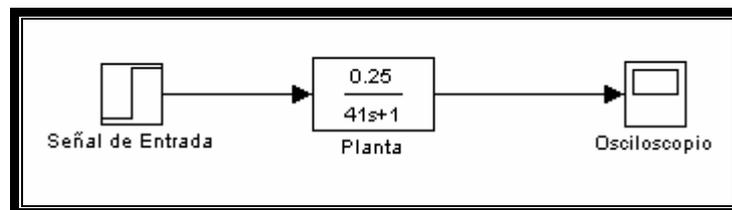


Figura 4.5 Respuesta de la Planta al impulso del Sistema de Calefacción.

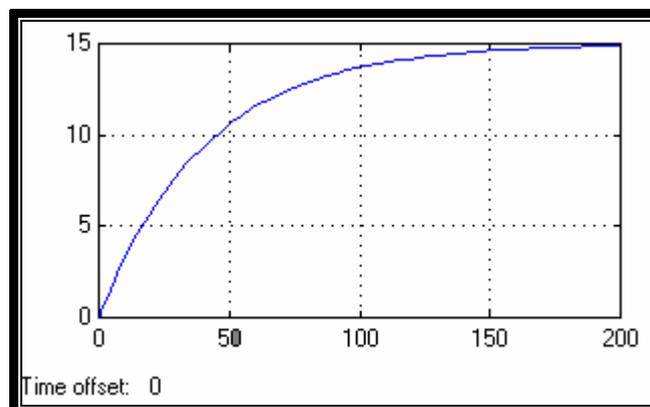


Figura 4.6 Gráfico de la respuesta al impulso del sistema de Calefacción

Modelado Matemático del sistema de Iluminación aplicado a la maqueta.

La grafica que se muestra en la figura 4.7 corresponde a los datos obtenidos a lazo abierto en el sistema de Iluminación. La variable de entrada es el voltaje aplicado a los LEDs, mientras que la variable de salida es el % de iluminación medido por el LDR. La variable de entrada fue sujeta a un cambio de tipo escalón de 0% al 98% .



Figura 4.7. Gráfico de respuesta al impulso del sistema de Iluminación.

Como podemos observar en la figura 4.7 la respuesta del sistema de iluminación es casi inmediata esto se debe a que los LEDs son dispositivos que carecen de dinámica.

Solución analítica. La ganancia a lazo abierto está dada por:

$$K = \frac{y_{\infty} - y_0}{u_{\infty} - u_0}$$

de los datos obtenidos experimentalmente Figura 4.7 tenemos:

$$y_0 = 750$$

$$y_{\infty} = 980$$

$$u_0 = 0$$

$$u_{\infty} = 50$$

por lo cual,

$$K = \frac{980 - 750}{50 - 0} = \frac{230}{50} = 4.6 \frac{cd}{m^2V}$$

por lo observado en la grafica figura 4.7 el valor de τ tiende a cero (0), debido a que su respuesta es casi inmediata gracias a la carencia de dinámica en los Leds.

$$\tau \rightarrow 0$$

Simulación del Modelado Matemático del sistema de Iluminación.

De los datos obtenidos anteriormente obtenemos la ecuación:

$$G(s) = \frac{4.6}{0s + 1}$$

la cual servirá para simular la respuesta al impulso del sistema a lazo abierto figura 4.8-4.9, con la ayuda de Simulink que está disponible en MatLab.

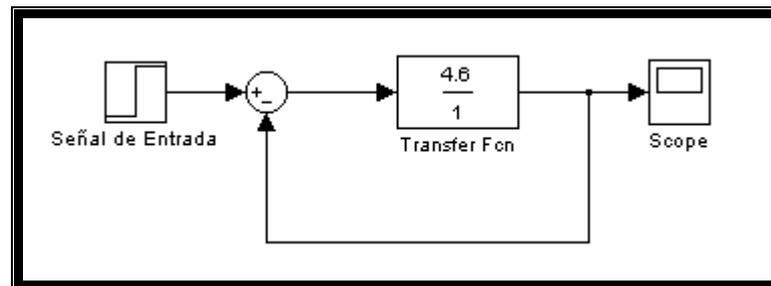


Figura 4.8 Respuesta de la Planta al impulso del Sistema de Calefacción.

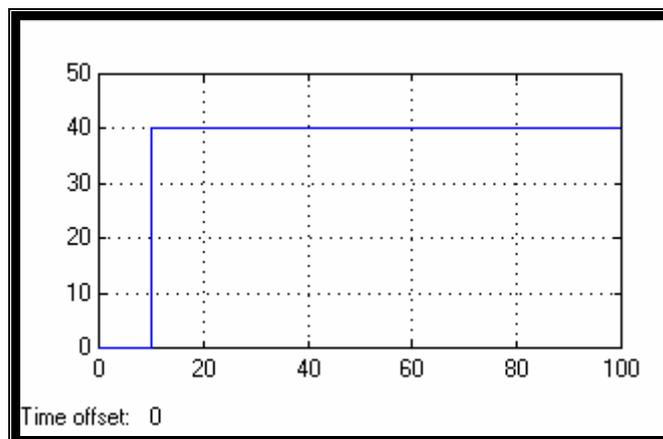


Figura 4.9 Gráfico de la respuesta al impulso del sistema de Calefacción

Modelado Matemático del sistema de Riego aplicado a la maqueta.

El sistema de control de riego diseñado para el invernadero es de tipo ON – OFF, esto quiere decir que la bomba prenderá solo cuando los sensores detecten el 0% de humedad cuya resistencia equivale a 6136 ohm, y se apagará cuando los sensores detecten el 100% de humedad cuya resistencia equivale a 230 ohm, pero como no todos los productos que se cultivan en invernaderos requieren la misma cantidad de agua para su correcto desarrollo debemos introducir por teclado el porcentaje de humedad requerida por la planta el cual se llama “*Set Point*”, entonces la bomba se prendera sólo cuando los sensores de humedad conductivos detecte que la humedad dentro del invernadero es inferior a la del *Set Point*, y se apagará cuando los sensores de humedad conductivos detecten que la humedad dentro del invernadero es igual a la introducida en el *Set Point*. La variable de entrada para el sistema de riego del invernadero es de tipo lógico y puede ser “1” ó “0”. Si es “1” significa que la bomba está encendida, y por el contrario, si es “0” significa que la bomba está apagada, mientras que la variable de salida es el % humedad del suelo dentro del invernadero medidos por los sensores de humedad conductivos. La variable de entrada fue sujeta a un cambio de tipo escalón de 0% al 38% figura 4.10.

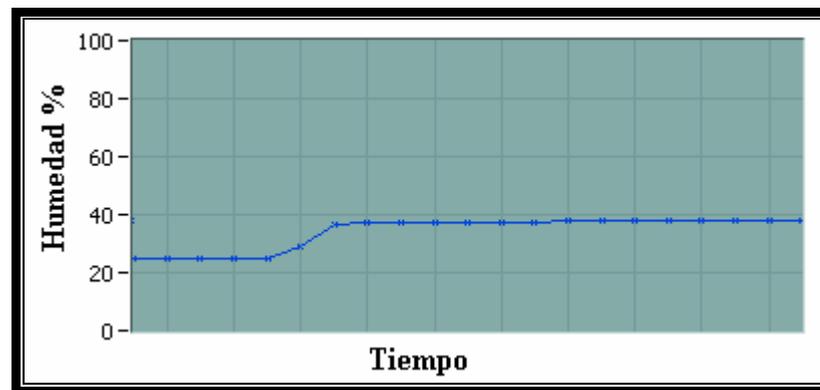


Figura 4.10 Gráfico de respuesta al impulso del sistema de Riego.

Modelo matemático del Sistema de Control a lazo cerrado.

Anteriormente analizamos los comportamientos de los diferentes sistemas a lazo abierto, ahora analizaremos el sistema de control a lazo cerrado, este análisis se hace ya que los sistemas se ven afectados por perturbaciones externas al mismo, como por

ejemplo; la temperatura ambiente afecta tanto al sistema de calefacción y como al sistema de ventilación.

En la figura 4.11, vemos que la salida del sistema (OUT), esta determinada por el set point, la salida junto con el set point son restadas entre si, de lo cual obtendremos un error, este error, será el que tratemos de minimizar, con el controlador PI, en nuestra caso. La respuesta del controlador PI, actuara sobre la planta (modelo matemático del sistema), la señal de salida de la planta se le suma un valor constante, que es la representación de cualquier tipo de ruido que pueda afectar al sistema. Este proceso se repite continuamente hasta que el error sea aproximadamente cero.

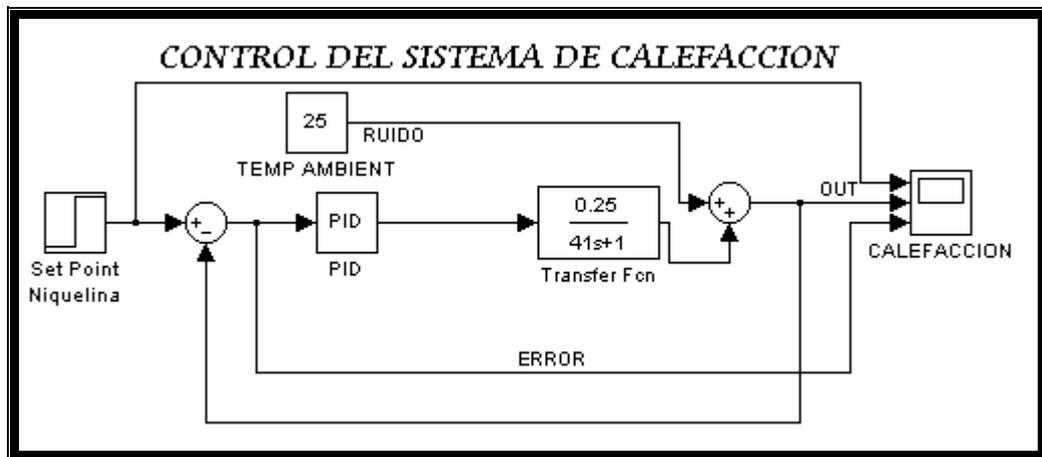


Figura 4.11.a Control del sistema de calefacción a lazo cerrado.

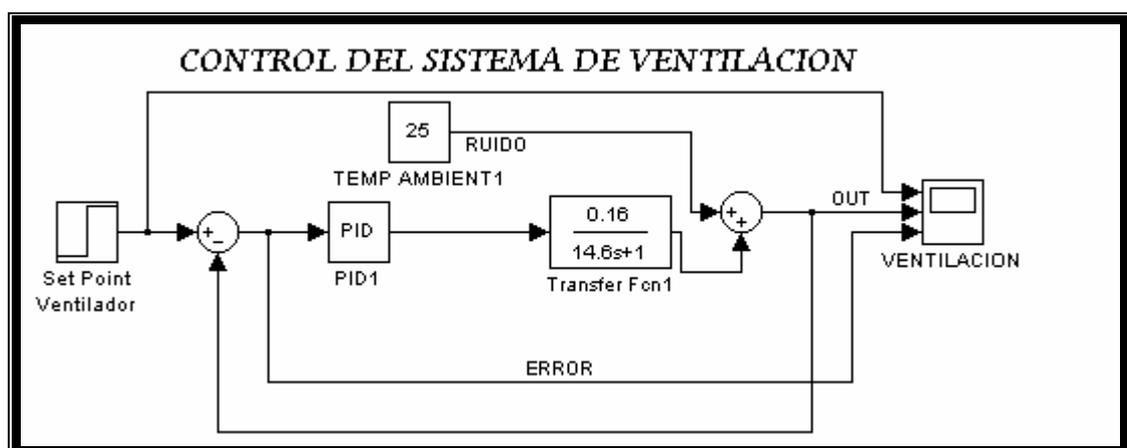


Figura 4.11.b Control del sistema de ventilación a lazo cerrado.

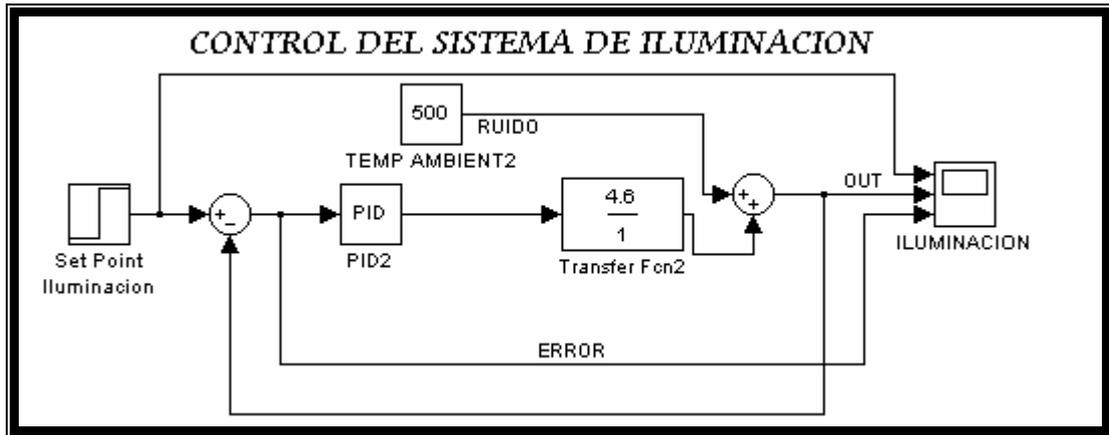


Figura 4.11.c Control del sistema de iluminación a lazo cerrado.

Figura 4.11 Sistema de Control a lazo cerrado.

En la figura 4.12 observamos la señal de ingreso (set point), la respuesta del sistema (OUT), que parte desde un valor inicial.

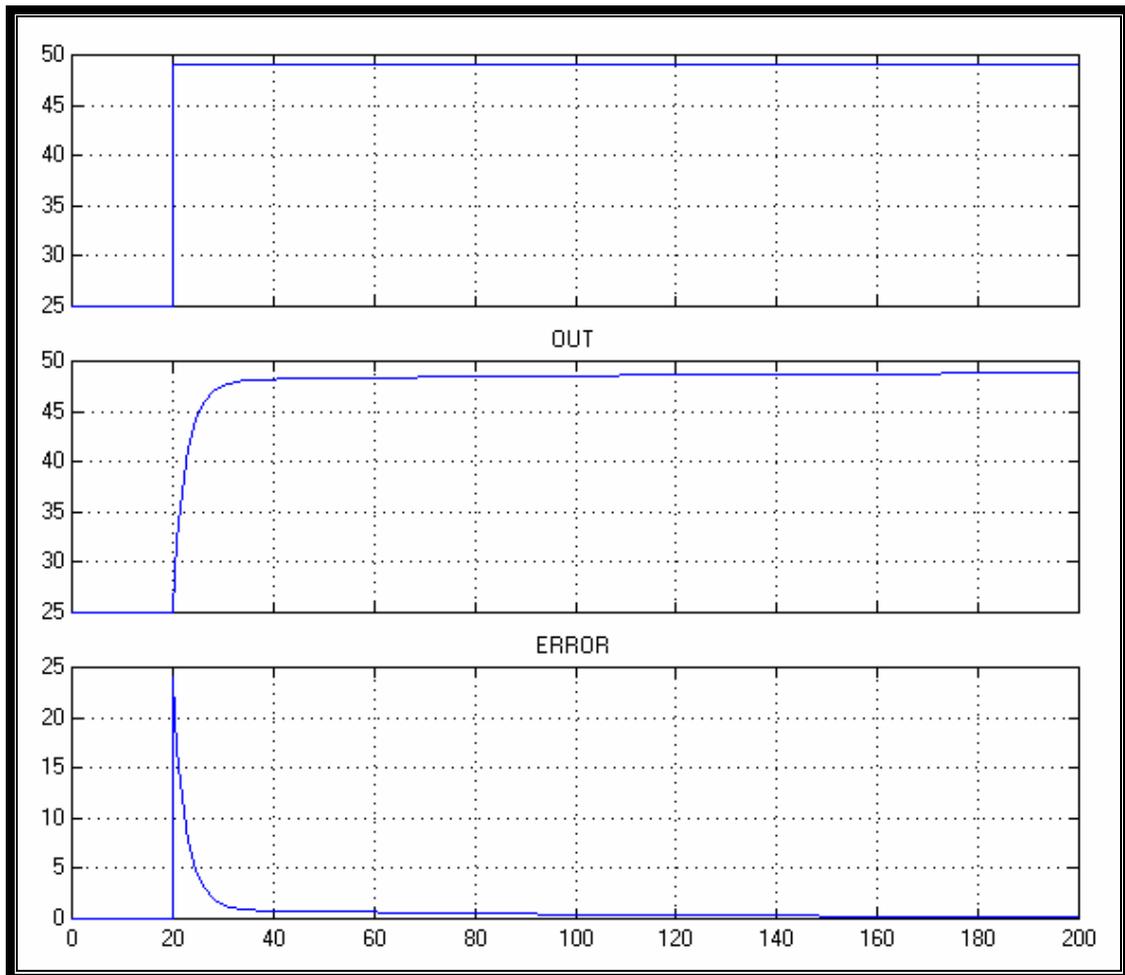


Figura 4.12.a Respuesta al impulso del sistema de calefacción

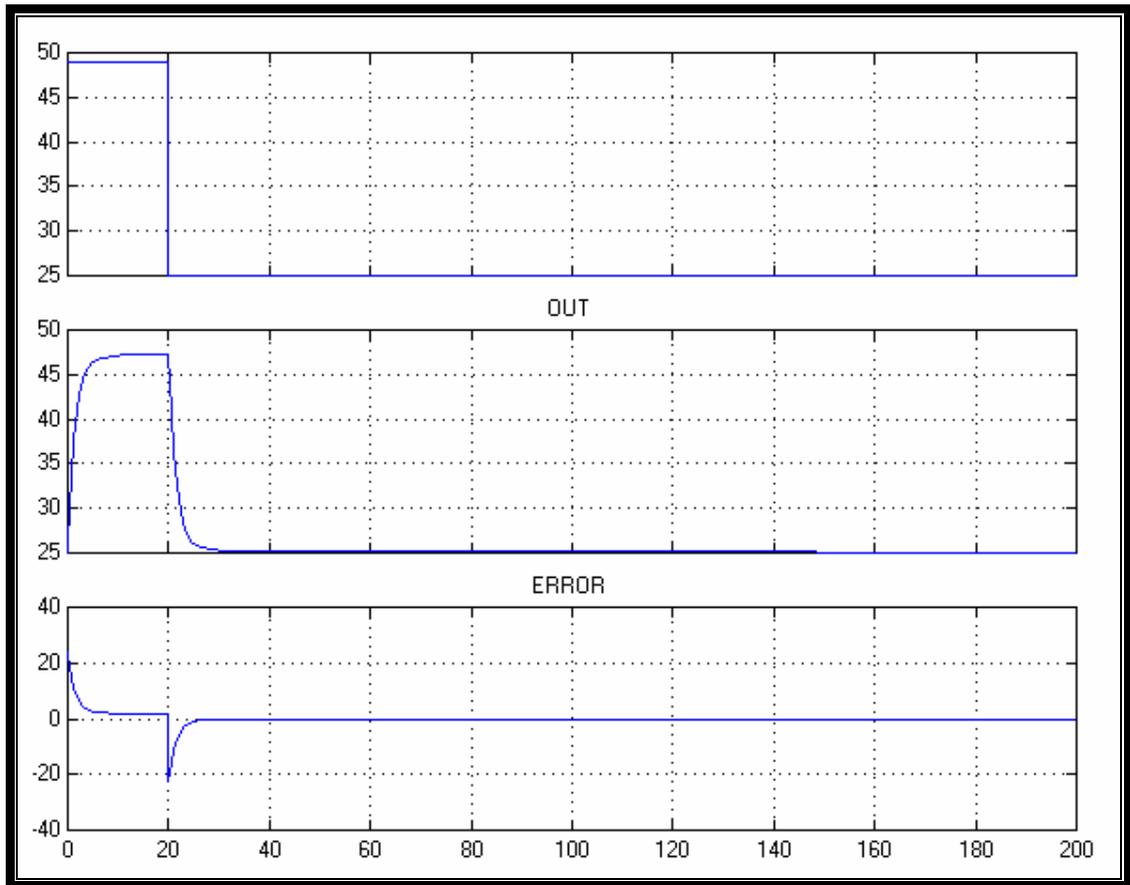


Figura 4.12.b Ventilación

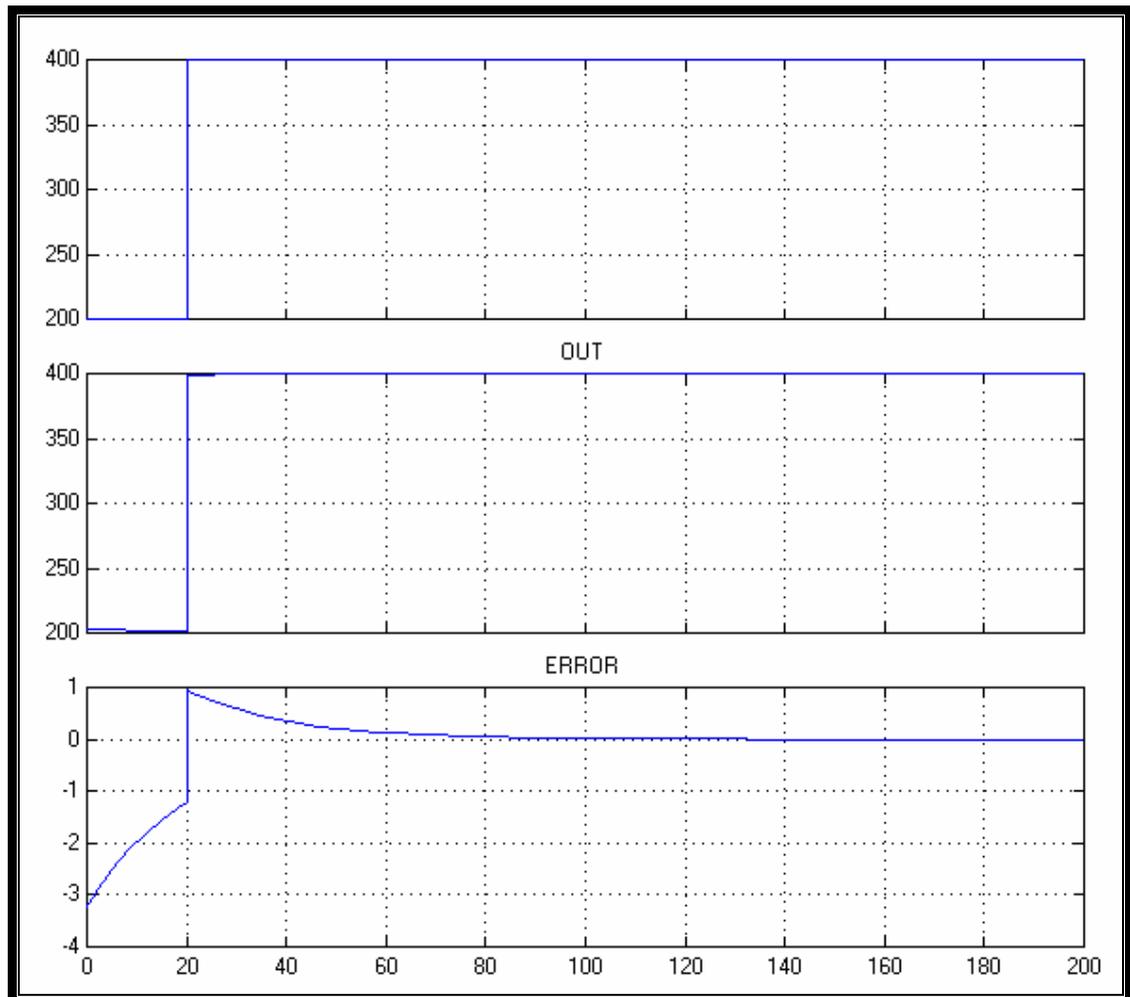


Figura 4.12.c Respuesta al impulso del sistema de iluminación

Figura 4.12. Respuesta al impulso de los diferentes Sistemas de Control

4.2 Diseño del software a utilizar HMI

El Interfaz Hombre Máquina es el software que nos permite comunicarnos con el sistema de control para proceder a controlar las variables que se van manejar dentro del invernadero. Este software o programa está basado en *LabView*, desde aquí podemos manipular los *Set Point*. El *Set Point* indica el Valor en grados centígrados, candela/metro cuadrado y porcentaje de humedad de nuestro sistema de control de temperatura, iluminación y riego respectivamente, es el límite máximo que admite el producto que está siendo cultivado en nuestro invernadero y deberá ser cambiado de acuerdo a las necesidades de cada tipo de producto a cultivarse.

Además podemos manipular las ganancias Proporcional e Integral de cada uno de los sistemas de control independientemente ya sea para la temperatura o para la iluminación, esto en cuanto a lo que el usuario puede modificar por teclado o con un clic izquierdo del Mouse. Lo que el programa nos proporciona son las graficas de temperatura en grados centígrados, iluminación y humedad en porcentajes, y además en forma digita y representativa para cada uno de los sistemas, es decir, en el caso de la temperatura (un termómetro), en el caso de la iluminación (una grafica de tipo plumilla de desplazamiento), y en el caso del riego (una bomba). Lo cual nos mantiene al tanto de lo que esta sucediendo dentro del invernadero.

En la fig. 4.13 observamos el flujograma en el que esta basado la lógica del programa HMI. Mientras que en la figura fig. 4.14, tenemos tanto el *Front Panel* del programa, y el *Diagram Block*, con sus respectivos sub-VI; del programa realizado en Labview 6.0.

DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROGRAMA LabView

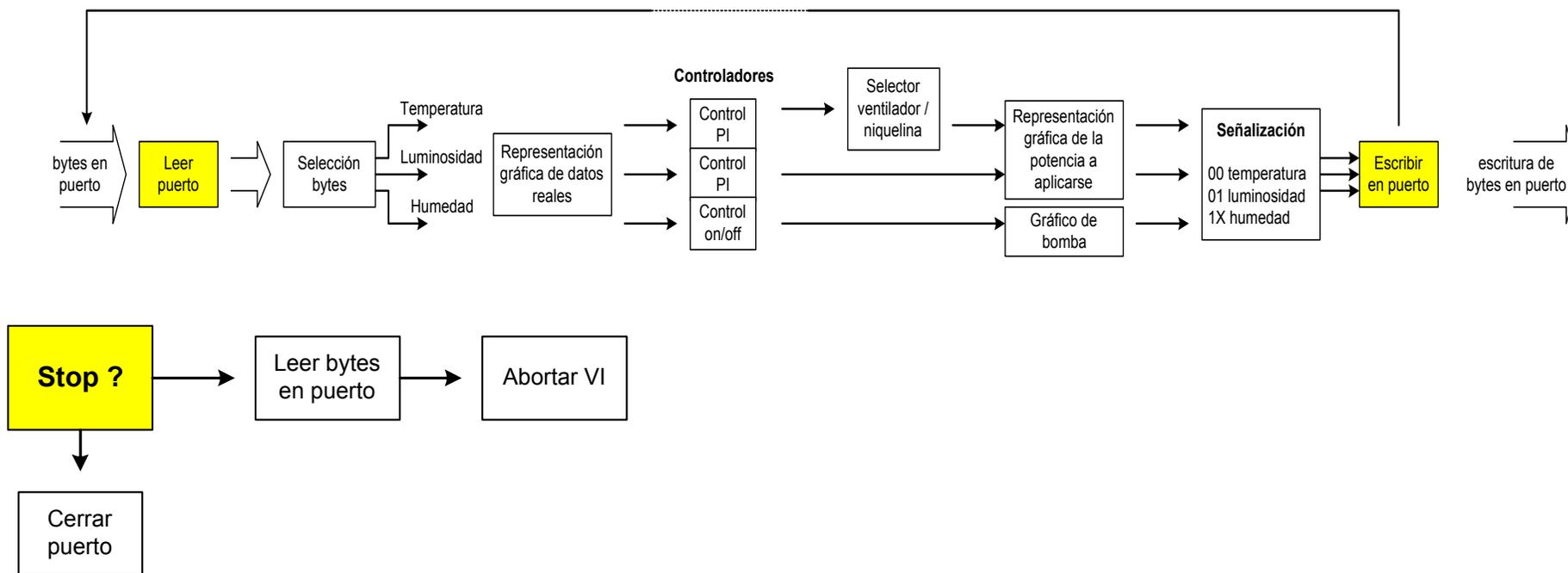


Figura 4.13 Diagrama de bloques de la adquisición y envío de datos desde la PC.

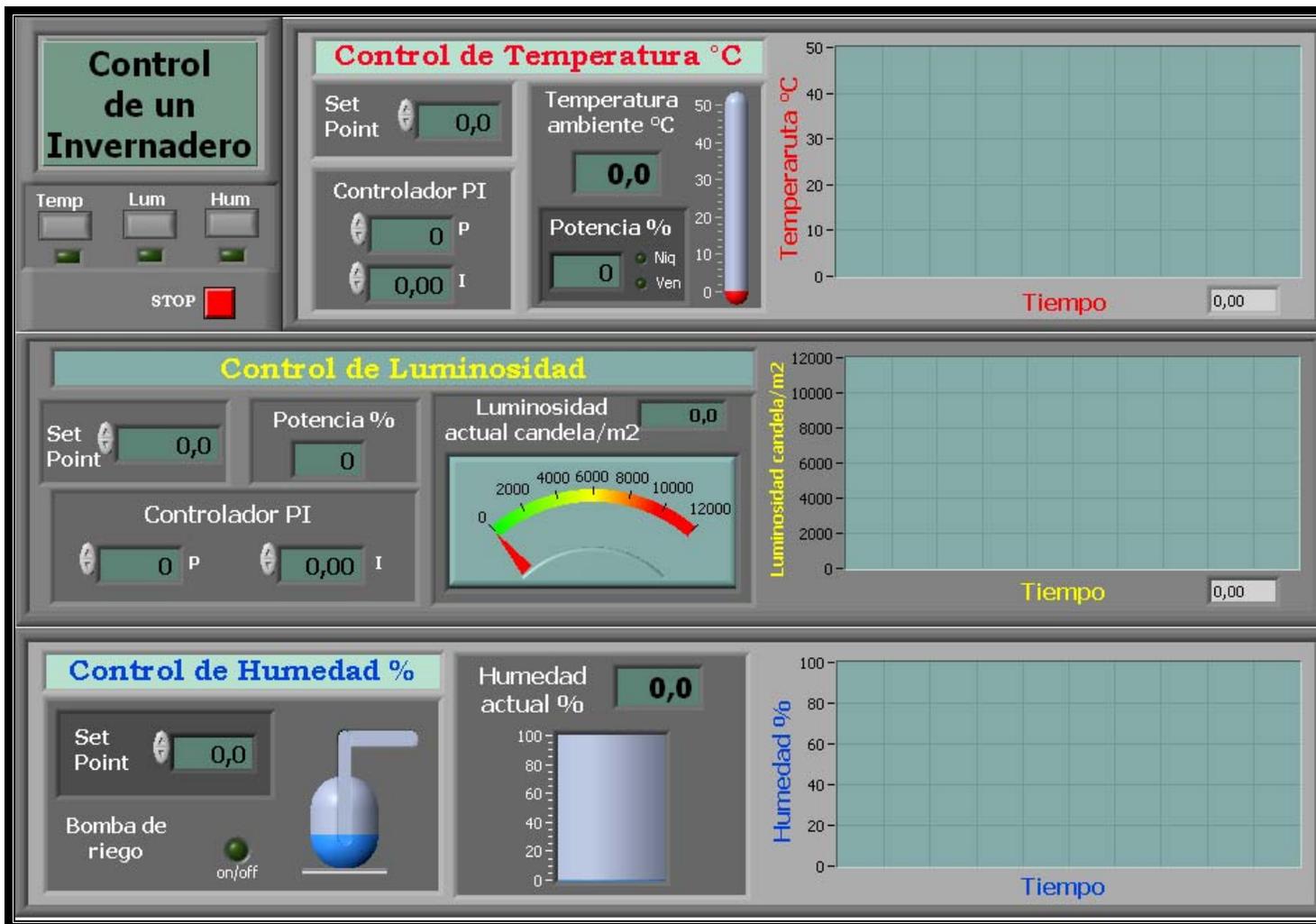


Figura 4.14.a. Front Panel del Software HMI

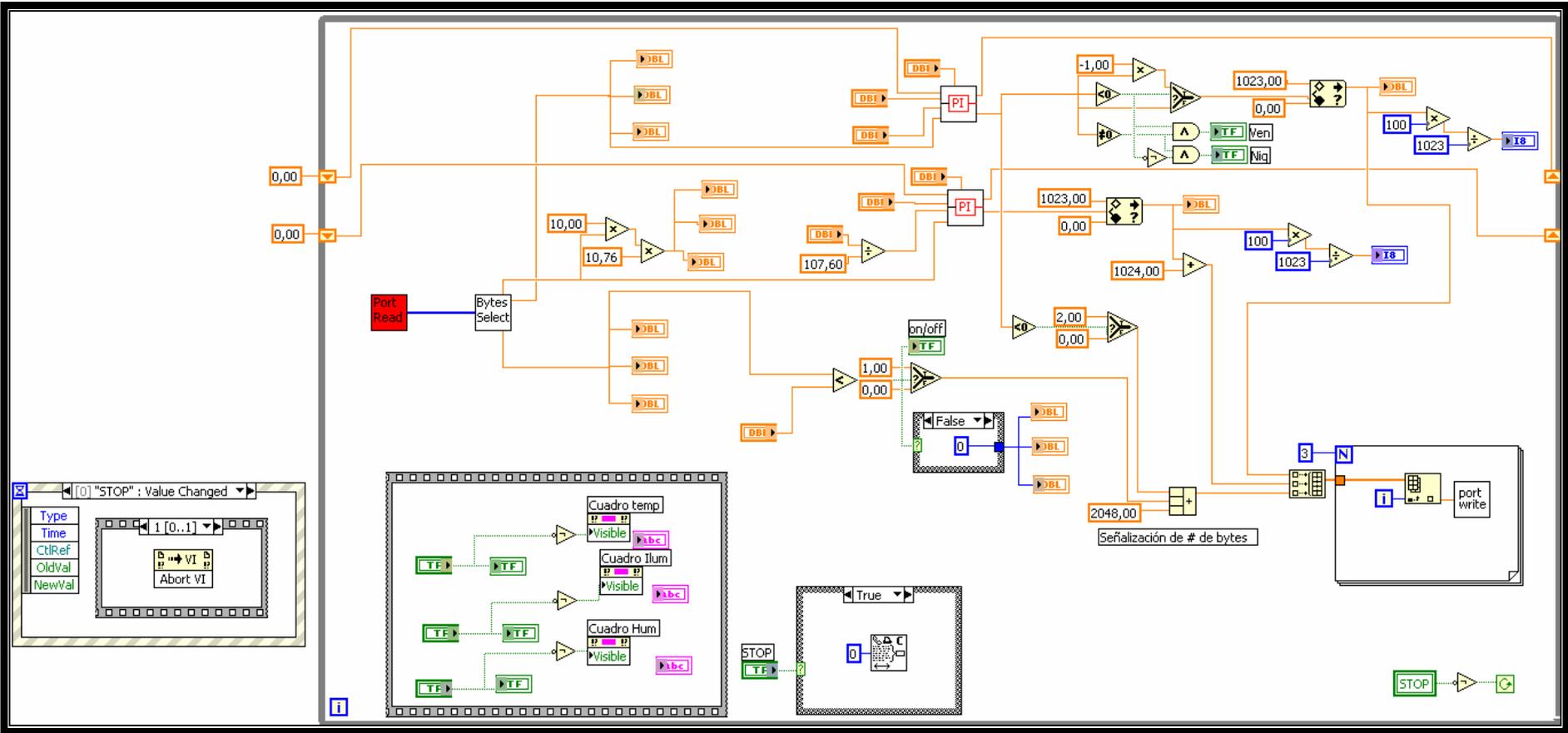


Figura 4.14.b. Diagram Block del Software HMI

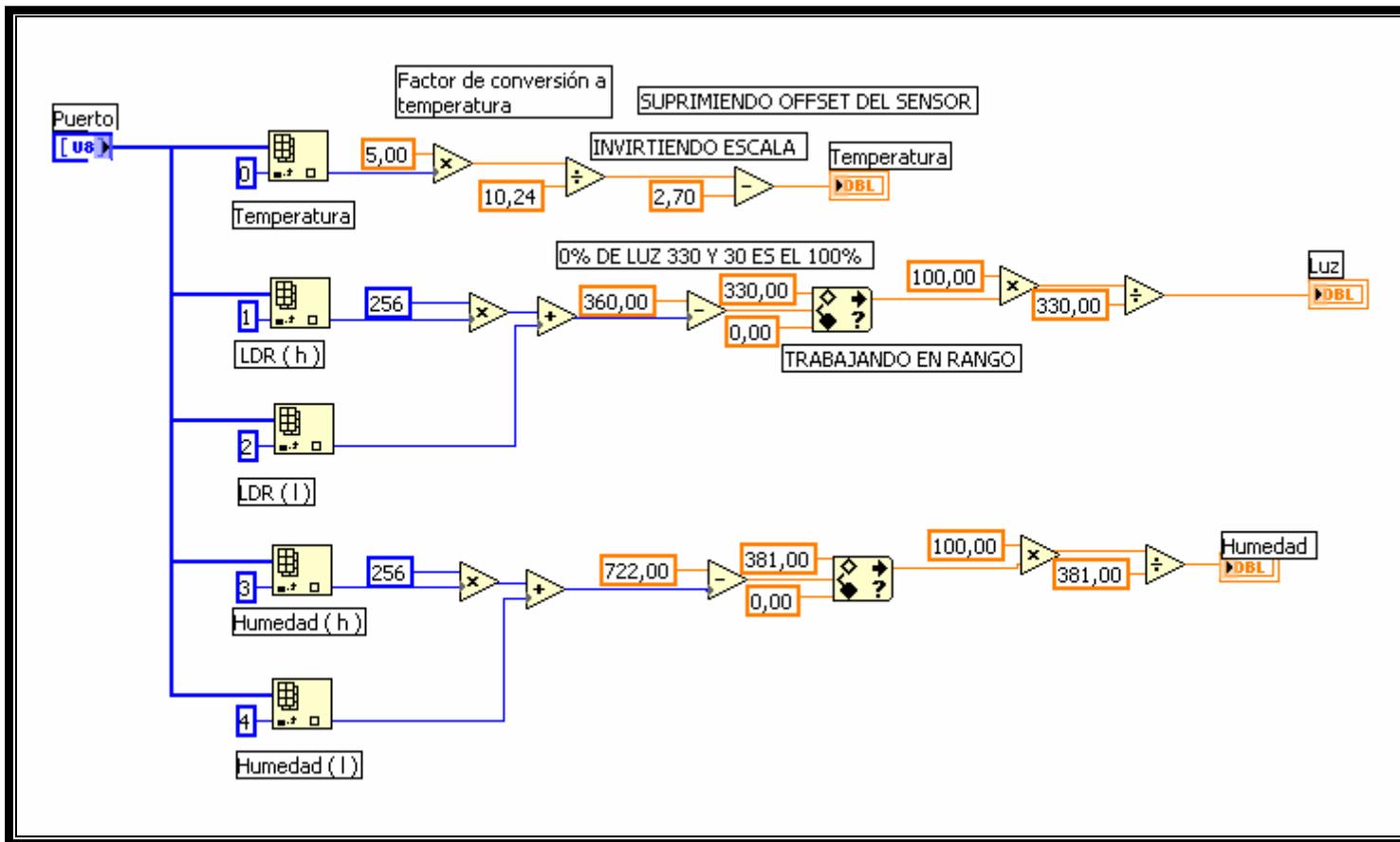


Figura 4.14.d. Sub-VI Bytes Select, sirve para seleccionar los bytes que envía el PIC al PC:

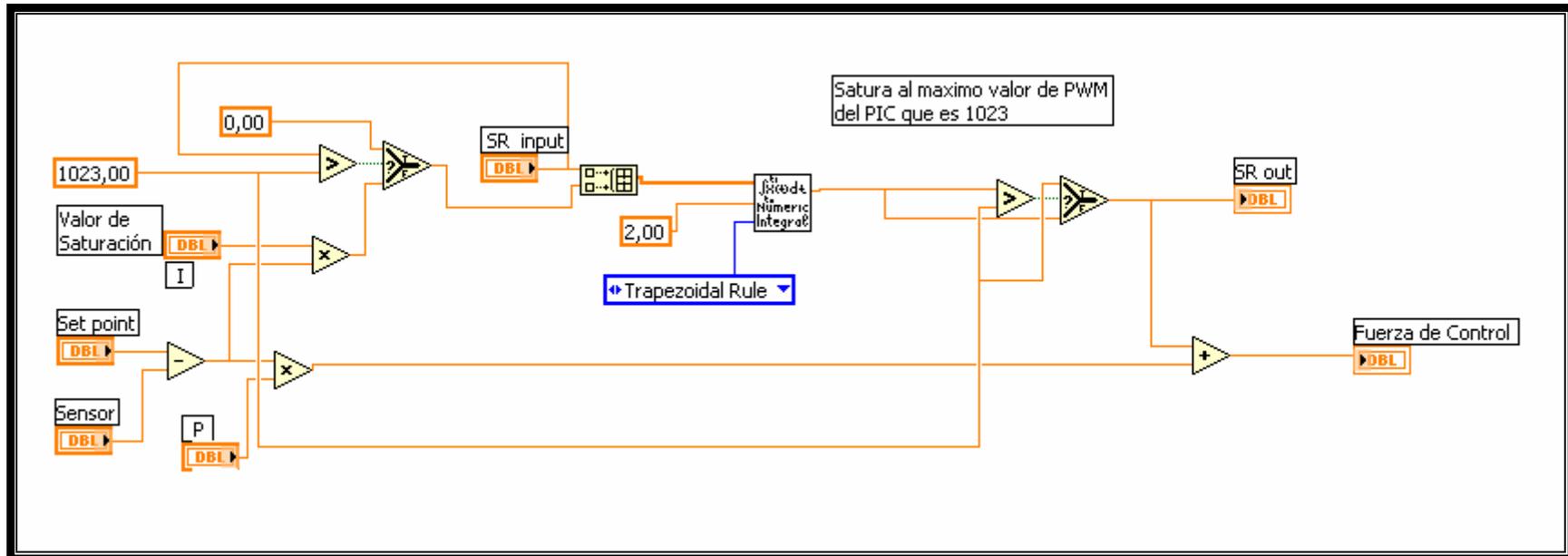


Figura 4.14.e. Sub-VI PI, sirve para determinar los niveles de set point, P, I, del controlador PI.

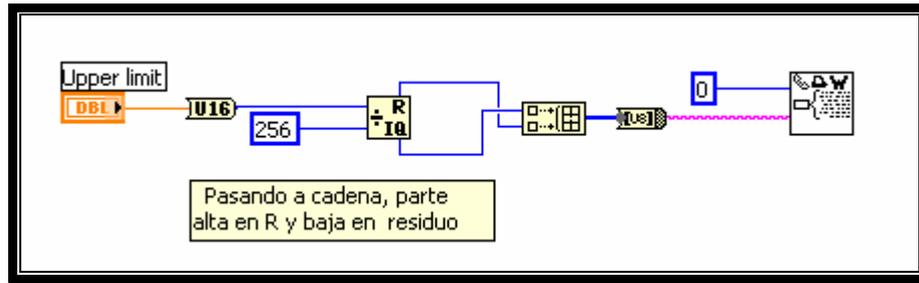


Figura 4.14.f. Sub-VI Port Write, sirve para enviar los bytes de respuesta del controlador PI, al microcontrolador para accionar los dispositivos de potencia.

4.3 Diseño del circuito electrónico para la adquisición de datos

4.3.1. Adquisición de datos de temperatura.

La adquisición de datos de temperatura se la realiza a través del C.I. LM35 (ver apartado 3.2), el cual entrega 10 mV/°C en su voltaje de salida, dependiendo de la variación de temperatura. El sensor de temperatura se acopla al PIC a través del C.I. LM358, cuyo encapsulado contiene 2 amplificadores operacionales. Un amplificador del LM358 esta configurado como un adaptador de impedancias para acoplar las señales entregadas por el LM35 al PIC. Los datos de temperatura, los adquiere el PIC por el pin RA0 (pin #2), para su posterior procesamiento. En la **figura 4.15** observamos en diagrama de bloques la conexión del sensor de temperatura.



Figura 4.15. Diagrama de bloques del funcionamiento del sensor de temperatura.

4.3.2. Adquisición de luminosidad

Para adquirir datos de luminosidad se emplea un LDR (ver apartado 3.3), que es un fotoresistor, es decir una resistencia que varía con la cantidad de luz incidente sobre éste. Para conectar el LDR, se configura a este como un partidor de tensión a través

de R7 (10K). Así mismo para poder conectar este partidor al PIC, se necesita acoplar la señal, a través de un OPAM configurado como adaptador de impedancias. La señal entregada por el LDR, llega al PIC a través de pin RA1 (pin #3), para su debido procesamiento. En la **figura 4.15** vemos en diagramas de bloques el funcionamiento del sensor de luminosidad. Podemos ver en la **figura 4.16**, la conexión del LDR, al PIC.

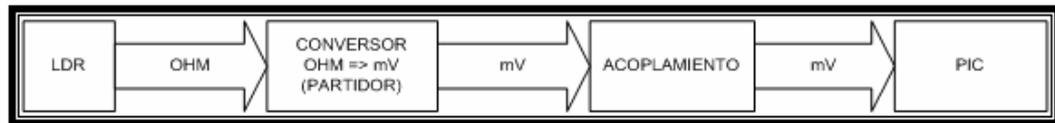


Figura 4.16. Diagrama de bloques de funcionamiento del sensor de luminosidad.

4.3.3. Adquisición de humedad

En el apartado 3.4, podemos ver más a detalle el funcionamiento del sensor de humedad, en este apartado haremos una breve descripción del funcionamiento del sensor. Como podremos ver en la **figura 4.18**, nuestro sistema está diseñado para cuatro sondas, cada sonda se linealiza a través de una resistencia de 3.3 K, una vez linealizadas las sondas, estas se promedian a través de C.I. LM358, el resultado del promediador se conecta a pin RA3 (pin #5) del PIC. En la **figura 4.17** vemos en diagramas de bloque el funcionamiento del sensor de humedad.

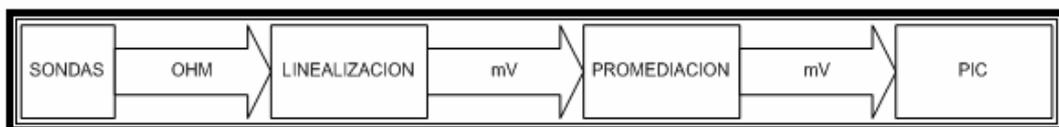


Figura 4.17. Diagrama de Bloques del funcionamiento del sensor de humedad.

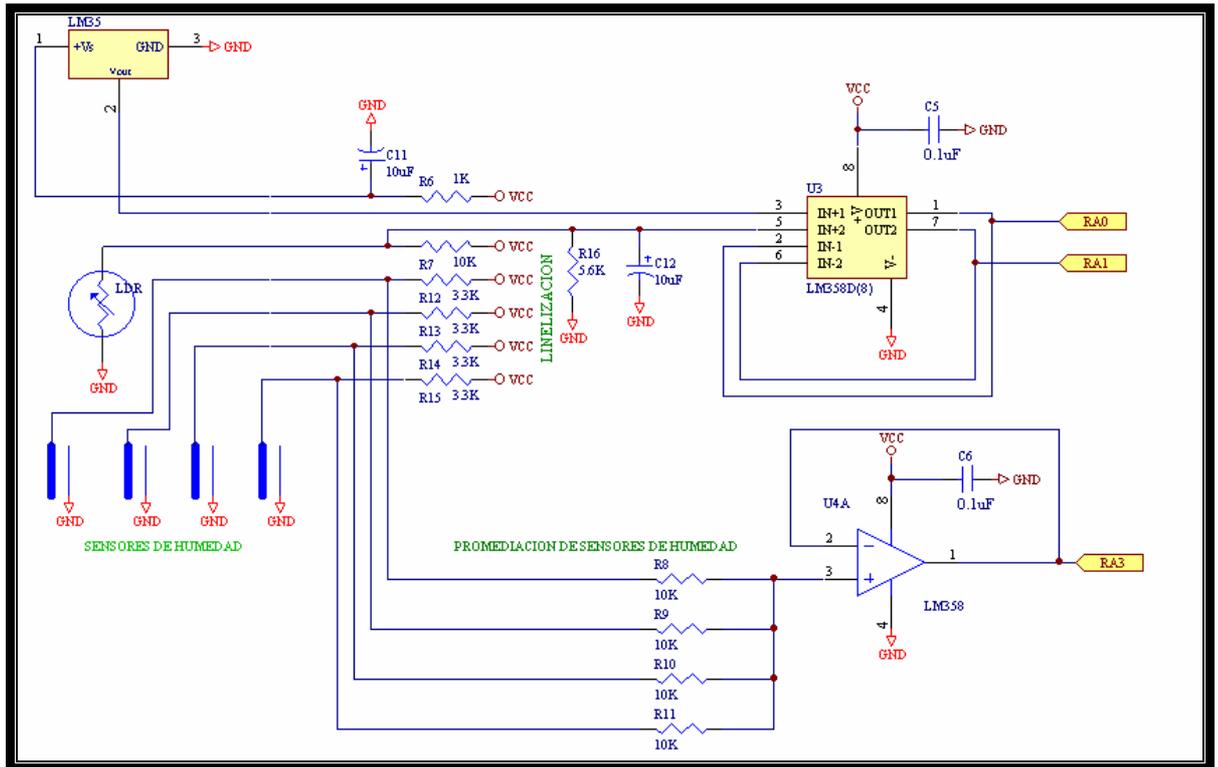


Figura 4.18. Interfaz de adquisición de datos entre los sensores y el microcontrolador

4.4. Diseño del circuito electrónico de potencia para los diferentes actuadores.

El pin RC0 del PIC, selecciona hacia donde va la señal del PWM generada por el propio PIC. Esta selección se la realiza a través de un transistor, el cual activa un relé, como se observa en la **figura 4.19**. El diodo D9 protege a la bobina del relé, de corrientes parásitas.

Si el pin RC0=5V, la señal del PWM va hacia el circuito de control del ventilador, en el caso de que RC0=0V, la señal del PWM se encamina al circuito de control de la niquelina.

Una vez seleccionado hacia donde va la señal del PWM, se la envía a un optoacoplador MOC3010. La función del optoacoplador es aislar la parte digital del sistema de control de la parte de potencia. Por cuestión de seguridad.

La salida del optoacoplador activa un TRIAC. Se ha escogido un TRIAC en lugar de un relé debido a que la gran cantidad de conmutaciones que se producen en el

funcionamiento del circuito lo que acabaría quemando los contactos de los relés en poco tiempo.

El Triac TIC226D tiene una tensión inversa de 400 V, lo que nos permite funcionar con seguridad a 110 V. Su intensidad máxima es de 10 amperios, lo que nos permitirá conectar cualquier sistema de ventilación o calefactor existentes en el mercado.

El conjunto RC colocado en paralelo con el Triac hace las veces de filtro de posibles perturbaciones que se puedan producirse durante la conmutación del TRIAC.

Tanto el circuito de control del ventilador y de la niquelina tienen similar conexión para esta aplicación.

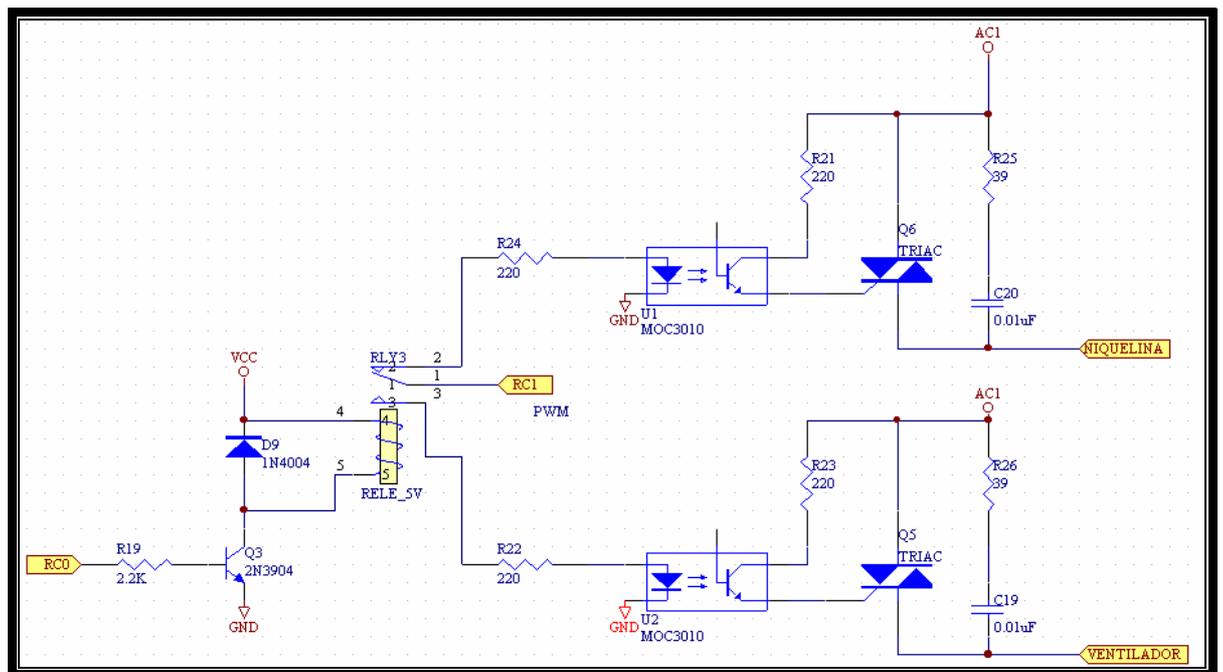
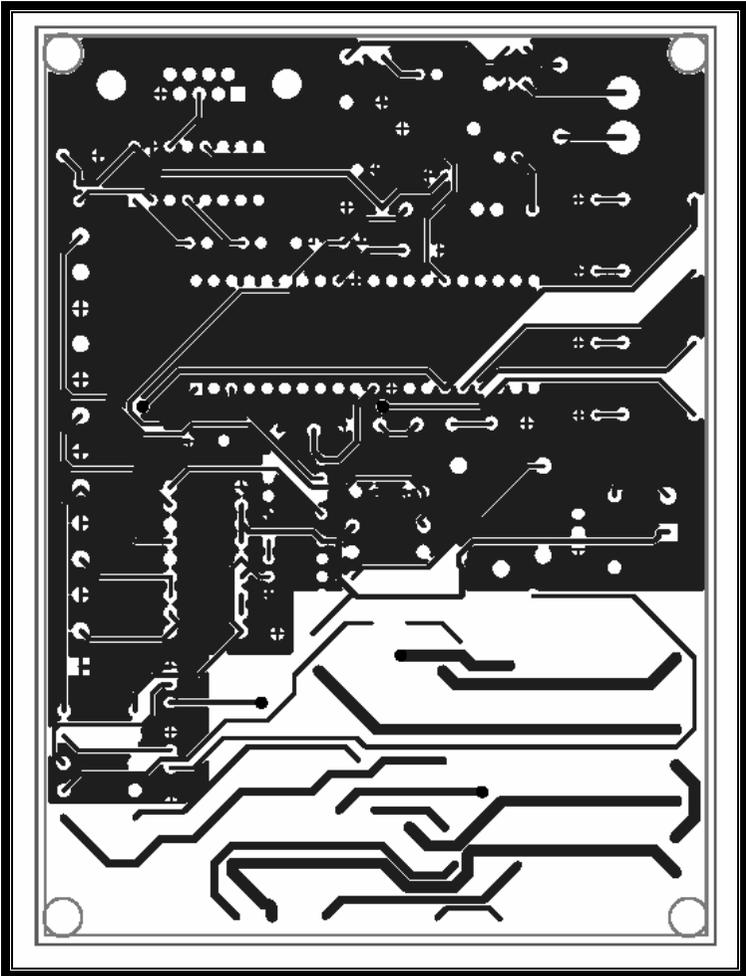


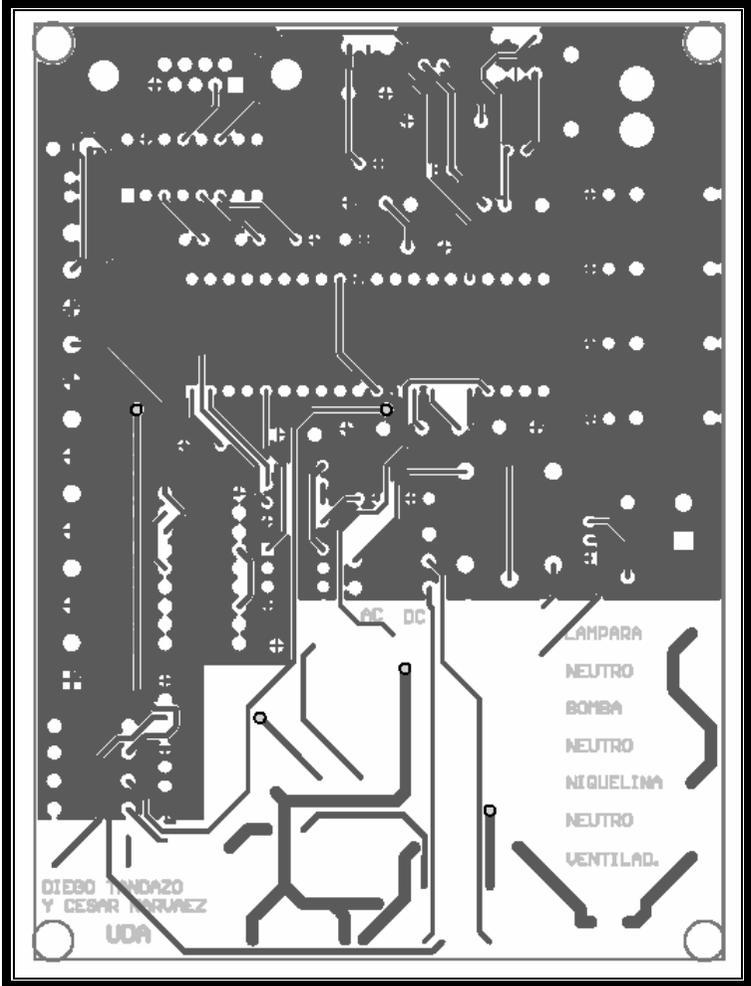
Figura 4.19. Interfaz de potencia para el control de temperatura.

4.4.1. Esquema de la Tarjeta del Sistema de Control del Invernadero

La tarjeta de sistema de control, está diseñado en PROTEL 99 SE, tanto el diagrama esquemático (figura 4.20), como el PCB (figura 4.21).



a. Capa Inferior



b. Capa Superior

Figura 4.21. PCB de la tarjeta del Sistema de Control del Invernadero.

4.5. SOFTWARE DE ADQUISICIÓN DE DATOS EN EL PIC.

Una vez visto el interfaz entre los sensores y el microcontrolador, debemos analizar el software de adquisición, o sea el programa que será grabado en el PIC. La descripción del funcionamiento del software, la haremos a través del siguiente diagrama de flujo figura 4.22:

Código generado en MPLab para la Adquisición de datos en el PIC.

```

;*****
;CONTROL DE INVERNADERO TEMPERATURA, LUZ, HUMEDAD
;recibiendo 6 bytes señalizados (bits 2 y 3 Hbyte)
;0 temp
;1 Luz
;3 Humedad
;actualizando CU a 10 bits de luz
;prendiendo bomba de riego RC3 (huml<0>)
;actualizando CU a 10 bits de temp con selector
;Selector (huml<1>) Ventilador o Niquelina RC0
;*****
    list p=16f877
    include "p16f877.inc"

cont1          =0x20
cont2          =0x21
cont3          =0x22
N              =0x23
M              =0x24
W_TEMP        =0x25
STATUS_TEMP   =0x26
convl          =0x27 ;conversión baja
convh          =0x28 ;conversión alta
usartr        =0x29 ;RX   PARA USART
usartt        =0x2A ;TX   PARA USART
usartrh       =0x2B ;rx alto
usartrl       =0x2C ;rx bajo
contb         =0x2D ;contador de bytes recibidos
temph         =0x2E
humh          =0x2F
huml          =0x30
temp1         =0x31
luzh          =0x32
luzl          =0x33
aux           =0x34 ;auxiliares para acomodar datos recibidos
aux1          =0x35

                org 0
                goto inicio

                org 4
                goto int

inicio          bcf 3,5
                bcf 3,6

                clrf cont1
                clrf cont2
                clrf cont3
                clrf contb

                clrf usartrl
                clrf usartrh
                clrf aux
                clrf aux1

```

```

;*****
;PUERTOS DE TRABAJO
;*****
clrf PORTD      ;limpia puerto D
clrf PORTA      ;limpia puerto A
clrf PORTE      ;limpia puerto E
clrf PORTC      ;limpia puerto C
clrf PIR1       ;limpiando banderas

;*****
;BLOQUE DE CONFIGURACION DE PUERTOS
;*****

;*****
;CONFIGURACIÓN PWM
;*****
;configurando prescaler del TMR2=16
movlw b'00000010'
movwf T2CON
clrf CCPR1L
clrf CCPR2L
;configurando modo pwm
movlw b'00001100'
movwf CCP1CON
movlw b'00001100'
movwf CCP2CON

;*****
;CONFIGURACION DE ENTRADAS ANALOGICAS RA0, RA1, RA3
;*****
movlw b'10000000'
movwf ADCON0
bsf 3,5
movlw b'10000100' ;JUSTIFICACION A LA
                   ;DERECHA CON ANA
                   ;RA0, RA1, RA3

movwf ADCON1
movlw b'00001011'
movwf PORTA
;*****
;SALIDAS DIGITALES
;*****
clrf PORTD
clrf PORTE
bcf TRISC,0 ;Selector Ventilador/niquelina
bcf TRISC,1 ;CCP2 salida
bcf TRISC,2 ;CCP1 salida
bcf TRISC,3 ;bomba de riego
bsf TRISC,7 ;RX ENTRADA DE DATOS
bcf TRISC,6 ;TX SALIDA DE DATOS

;*****
;TX EN MODO ASÍNCRONO,8-BITS DE TRANSMISION ALTA VELOCIDAD
;*****
movlw d'130'      ;APROX =9600 REAL =9541.98
movwf SPBRG      ;BRGH = 1 BAUD RATE =
                  ; Fosc/(16(SPBRG+1)) SPBRG = 130
movlw b'11000000' ;HABILITADA LA
                  ;INTERRUPCIONES
                  ;PERIFERICAS

```

```

movwf INTCON
bsf PIE1,5 ;INT HABILITADA PARA RECIBIR POR
           ;USART
;*****
;BLOQUE DE CONFIGURACION DEL USART
;*****
bcf 3,5
movlw b'10010000'
movwf RCSTA
bsf 3,5
movlw b'00100110'
movwf TXSTA
bcf 3,5

;PERIODO DEL PWM
movlw d'255'           ;155,25
movwf PR2

;*****
;PROGRAMA PRINCIPAL
;*****
bcf 3,5

bsf T2CON,2           ;encender tmr2

lop

;*****
;CONVERSION POR CANAL RA0
;*****
movlw b'10000000'
movwf ADCON0
call CONVERSION
movf convl,w
call transmite

;*****
;CONVERSION POR CANAL RA1
;*****
movlw b'10001000'
movwf ADCON0
call CONVERSION
movlw b'00000011'
andwf convh,w
movwf convh
movf convh,w
call transmite
movf convl,w
call transmite

;*****
;CONVERSION POR CANAL RA3
;*****
movlw b'10011000'
movwf ADCON0
call CONVERSION
movlw b'00000011'
andwf convh,w
movwf convh
movf convh,w
call transmite
movf convl,w
call transmite

```

```

        call DEM_500ms
        call cu_luz
        call select_temp
        call cu_temp
        call bomba_hum

        goto lop

transmite      movwf TXREG
               bsf 3,5
wait3         btfss TXSTA,1;ESPERA QUE TERMINE DE MANDAR EL DATO
               goto wait3
               bcf 3,5
               return

cu_luz        ;actualiza cu de luminosidad
               ;dato al CCP1CON
               clrf aux
               movf luzl,w
               andlw b'00000011'
               movwf aux
               bcf STATUS,C
               rlf aux,1
               rlf aux,1
               rlf aux,1
               rlf aux,1
               movlw b'00110000'
               andwf aux,1
               movlw b'11001111'
               andwf CCP1CON,w
               iorwf aux,w
               movwf CCP1CON
               ;dato al CCPR1L
               clrf aux
               clrf aux1
               movf luzh,w
               movwf aux
               bcf STATUS,C
               rlf aux,1
               rlf aux,1
               rlf aux,1
               rlf aux,1
               rlf aux,1
               rlf aux,1
               movlw b'11000000'
               andwf aux,1
               movf luzl,w
               movwf aux1
               bcf STATUS,C
               rrf aux1,1
               rrf aux1,1
               movlw b'00111111'
               andwf aux1,w
               iorwf aux,w
               movwf CCPR1L
               return

select_temp   ;selector ventilador/niquelina
               btfss huml,1
               goto select_vent

```

```

;select niquelina
bsf PORTC,0
return

select_vent      bcf PORTC,0
                  return

cu_temp          ;actualiza cu de temperatura
                  ;dato al CCP1CON
                  clrf aux
                  movf templ,w
                  andlw b'00000011'
                  movwf aux
                  bcf STATUS,C
                  rlf aux,1
                  rlf aux,1
                  rlf aux,1
                  rlf aux,1
                  movlw b'00110000'
                  andwf aux,1
                  movlw b'11001111'
                  andwf CCP2CON,w
                  iorwf aux,w
                  movwf CCP2CON
                  ;dato al CCPR1L
                  clrf aux
                  clrf aux1
                  movf temph,w
                  movwf aux
                  bcf STATUS,C
                  rlf aux,1
                  rlf aux,1
                  rlf aux,1
                  rlf aux,1
                  rlf aux,1
                  rlf aux,1
                  movlw b'11000000'
                  andwf aux,1
                  movf templ,w
                  movwf aux1
                  bcf STATUS,C
                  rrf aux1,1
                  rrf aux1,1
                  movlw b'00111111'
                  andwf aux1,w
                  iorwf aux,w
                  movwf CCPR2L
                  return

bomba_hum       ;prende o apaga bomba de riego
                  btfss huml,0
                  goto bomba_off
                  ;bomba on
                  bsf PORTC,3
                  return

bomba_off       bcf PORTC,3
                  return

```

```

;*****
;BLOQUE DE RECEPCION POR INT
;*****

int          MOVWF W_TEMP ;Copy W to a Temporary Register
            SWAPF STATUS,W;Swap STATUS nibbles and place
            MOVWF STATUS_TEMP;Save STATUS to a Temporary
            ; register
verifica    btfss PIR1,5          ; VALIDA INT
            goto salir
            btfsc RCSTA,2          ;ve si hay errores
            goto framing
            btfsc RCSTA,1
            goto overrun

leer        movf contb,w
            btfsc STATUS,Z
            goto leer_alto
            ;leer bajo
            movf RCREG,w          ;RECOGE EL DATO
            movwf usartr1
            clrf contb

            btfsc usartrh,2
            goto dato_luz
            btfsc usartrh,3
            goto dato_humedad
            goto dato_temp

dato_humedad movf usartrh,w
            movwf humh
            movf usartr1,w
            movwf huml

salir       SWAPF STATUS_TEMP,W ;Swap original STATUS register
            ;value
            MOVWF STATUS ; Restore STATUS register from
            SWAPF W_TEMP,F;Swap W_Temp nibbles andreturn
            SWAPF W_TEMP,W; Swap W_Temp to W to restore
            ;original
            RETFIE

dato_temp   movf usartrh,w
            movwf tempb
            movf usartr1,w
            movwf templ
            goto salir

dato_luz    movf usartrh,w
            movwf luzh
            movf usartr1,w
            movwf luzl
            goto salir

leer_alto   movf RCREG,w
            movwf usartrh
            incf contb,1

```

```

                                goto verifica

framing                        bsf PORTC,0
                                call DEM_500ms
                                bcf PORTC,0
salir_err                      bcf RCSTA,4
                                bsf RCSTA,4
                                goto verifica

overrun                        bsf PORTC,1
                                call DEM_500ms
                                bcf PORTC,1
                                goto salir_err

CONVERSION                    bsf ADCON0,0
                                call DEM_40us                ;espera tadq
                                bsf ADCON0,2                ;inicio
WAIT2                          btfsc ADCON0,2
                                goto WAIT2                ;espera tconv
                                movf ADRESH,0
                                movwf convh
                                bsf 3,5                    ;banco 1
                                movf ADRESL,0
                                bcf 3,5                    ;banco 0
                                movwf convl                ;recoger dato
                                bcf ADCON0,0                ;apago A/D
                                return

;subrutinas de demora

DEM_40us                      movlw d'6'
                                movwf N
                                movlw d'2'
                                movwf M
                                call DEMORA
                                RETURN

DEM_500ms                     movlw d'128'
                                movwf N
                                movlw d'51'
                                movwf M
                                call DEMORA
                                RETURN

DEMORA                        ;RETURN
                                movf N,w                ;muevo N a w
                                movwf cont1
                                movwf cont2
                                movf M,w
                                movwf cont3
LOOP                          decfsz cont1,1
                                goto LOOP
                                movf N,w
                                movwf cont1
                                decfsz cont2,1
                                goto LOOP
                                movf N,w
                                movwf cont2
                                decfsz cont3,1

```

```
goto LOOP
;fin del proceso inicia contadores
RETURN
```

END

4.6. Implementación de la maqueta (Invernadero).

Con el nombre de invernadero o abrigo se denomina a la construcción formada por una estructura que puede ser de material metálico o de madera, cuya finalidad es servir de soporte a una cubierta de polietileno, con suficiente solidez para resistir los embates del viento y con dimensiones que permitan el desarrollo de las plantas y el manejo interior.

El objetivo del invernadero es la producción precoz de hortalizas y flores mediante un mejor aprovechamiento de la energía solar durante el invierno. Por otra parte, proporciona también un aumento muy considerable de la cantidad y calidad de la cosecha, pudiendo utilizarse especies y variedades de mayor potencial productivo que al aire libre.

Para implementar la maqueta debemos tener claro que tipos de productos vamos a cultivar, que parámetros debemos controlar, cuales son las características del terreno donde vamos a construir el invernadero, que tipo de invernadero debemos construir para que nos brinde los mejores resultados de la inversión y cuales son las características de éste. A continuación exponemos algunas de estas características.

4.6.1. Características generales de los invernaderos.

- Los invernaderos se construyen con la finalidad de proteger a los cultivos de los factores climáticos externos, tales como: Lluvias, heladas y vientos.
- Están recubiertos de un plástico, que deja pasar con facilidad los rayos solares beneficiosos para el normal desarrollo de la planta.
- Se puede obtener cultivos precoces, altos rendimientos en las cosechas, ahorro de agua y fertilizantes, mejor control de plagas y enfermedades.
- Los invernaderos se caracterizan por producir productos fuera de su estación típica.

4.6.2. Características constructivas generales del invernadero.

El invernadero se monta con pendiente a dos aguas, oscilando dicha pendiente entre el 12 al 14% para evitar bolsas de agua cuando llueve, procurar la máxima iluminación y por otro lado, facilitar el cambio del plástico. La planta del invernadero deberá ser rectangular, adaptando las naves a las dimensiones de la parcela, sobre todo en cuanto a la longitud, ya que la anchura debe quedar limitada a la que permita una eficaz ventilación.

Para la colocación de los plásticos se proveerá todo el perímetro exterior (laterales, frontales, y cubierta), de una doble malla de alambre con el objeto de colocar el plástico en su interior y que quede así protegido, en lo posible, de la acción de los vientos dominantes.

4.6.2.1 Dimensionado del invernadero.

Las dimensiones del invernadero, aparte de las limitaciones que imponga la parcela, deben determinarse teniendo en cuenta una serie de factores tales como la ventilación natural de la zona, grado de humedad existentes, posibilidades de inversión térmica, cultivos a establecer, etc.

El objetivo es disponer de un invernadero lo más caliente posible y poder ventilar eficazmente cuando haya exceso de humedad o temperatura. Para ello, debe situarse la anchura entre unos límites razonables, sin olvidar que también que la altura juega un papel muy importante.

4.6.2.2 Anchura del invernadero.

En parajes o situaciones donde se acumula la humedad los invernaderos deberán ser más estrechos y por el contrario en zonas bien ventiladas podrá llegar a mayores anchuras. Determinados cultivo como el tomate, que quieren mayor ventilación, tendrán mayores problemas en invernaderos anchos que por ejemplo el pepino, cultivo que soporta mayores grados de humedad. Teniendo en cuenta estos aspectos, y también la economía y ahorro de trabajo, se ha estimado que la anchura optima de

invernadero con cubierta de plástico, con ventilación por bandas y apto para el cultivo de tomate y pimiento, debe situarse entre los 20 y 25 metros.

Anchuras inferiores a los 16 y 18 metros dan lugar a invernaderos más fríos y encarecen el costo por metro cuadrado; por el contrario, por encima de 30 metros, puede haber serias dificultades de ventilación y consiguientemente mayor incidencia de enfermedades.

El invernadero tipo capilla es siempre preferible separar e independizar cada nave y no adosarlas, pues aparte de las razones ya apuntadas de facilitar la ventilación, se evita el goteo interior en caso de lluvia, y aunque parezca contradictorio, se consigue un mejor aprovechamiento del terreno. La explicación es clara: dos invernaderos de 20 ó 25 metros sólo requieren un camino central común de servicio, mientras que uno doble precisa un camino por cada lado además por las pérdidas en el centro de la nave.

4.6.2.3. ALTURA DEL INVERNADERO.

Interesan los invernaderos altos por almacenar mayor volumen de aire, que al calentarse durante el día mantienen mejor la temperatura por la noche, con menor riesgo de inversiones térmicas. Por otro lado, la mayor altura permite una mejor ventilación al aumentar la superficie de las bandas laterales y frontales. La altura mínima debe ser de 2 metros para la banda lateral y de 3 a 4 metros en la cumbre, siendo esta medida variable en función de la anchura de invernadero. En cualquier caso, la pendiente debe situarse sobre el 12 y 14% como ya se ha indicado anteriormente.

4.6.2.4. Longitud del invernadero.

La longitud del invernadero no tiene mayores limitaciones, solamente hay que tener en cuenta que las distancias a recorrer en la entrada y salida de productos no sean excesivas, lo que se resolverá con una cierta limitación de la longitud y con un sistema de puertas adecuado. Otro aspecto a considerar es la superficie total de cada

nave, pudiendo establecerse como módulos orientativos para tomate y pimiento los invernaderos de 1500 a 3000 metros cuadrados por término medio.

4.6.3. Características básicas de los cultivos bajo invernaderos

Todos los cultivos pueden desarrollarse a campo abierto, de acorde al clima predominante en la zona; pero de igual manera todos son propensos al ataque de plagas, además el uso irracional de agroquímicos en el control de plagas causa intoxicación de los frutos y daños ambientales. A campo abierto se desperdicia el recurso hídrico, ya sea por el viento o por un mal manejo; pero dentro de un invernadero esta deficiencia es nula. El sistema de riego más adecuado es el riego por goteo, porque consume menor volumen de agua.

4.6.3.1. Ventajas del cultivo bajo invernadero

- * Se puede cosechar fuera de estación.
- * Prolongar la producción por planta.
- * Los cultivos son precoces.
- * Mejor producción.
- * Frutos sanos.
- * Reducción significativa de plagas y enfermedades.
- * La inversión inicial se recompensa.

4.6.3.2 Desventajas del cultivo bajo invernadero

- * Alta inversión inicial y durante el cultivo.

4.6.3.3. Exigencias del cultivo bajo invernadero

- * Emplear semillas híbridas y materiales vegetativas sanas.
- * Conocimientos de riego, poda, tutoreo, etc.
- * Control riguroso de la temperatura y humedad.
- * Riego y fertilizaciones frecuentes.

4.6.3.4. Condiciones para el desarrollo del cultivo

*** ALTITUD:**

- De esta va ha depender el tipo de cultivo ha aplicarse.

*** TEMPERATURA.**

- Debe estar a una temperatura optima para el desarrollo del cultivo a aplicar.

*** HUMEDAD.**

- Es muy importante para cualquier tipo de producto por lo que deberá acumular mucha humedad.

*** SUELO:**

- Los suelos francos, franco-arenosos, franco-arcillosos y limosos son excelentes para cultivar, se debe preferir suelos bien drenados y con un buen porcentaje de materia orgánica.

4.6.4. Construcción de invernaderos

La estructura de un invernadero no tiene más objeto que sujetar, con la máxima seguridad y rigidez, la cubierta, constituida, generalmente, por una lámina de polietileno. Por ello ha de ser ligera y económica, de forma que permita su rápida amortización.

Pero los conceptos ligereza y economía han de conciliarse con la máxima resistencia a los embates del viento, y con proporcionar el mayor volumen del aire posible en relación con la superficie cubierta, con el objeto de almacenar el máximo de calorías que eviten los cambios bruscos de temperatura, tan nocivos para los diferentes productos que se pueden cultivar en el invernadero.

En definitiva, el agricultor debe exigir a la estructura las siguientes cualidades:

1. Economía; pronta amortización.
2. Buen anclaje al terreno; resistencia al viento.
3. Máximo volumen del aire almacenado por unidad de superficie.
4. Rígida sujeción del plástico y cerramiento estanco.
5. Fácil ventilación. Este punto y los demás anteriores permitirán mantener la humedad y temperatura en niveles favorables.
6. Fácil manejo con el mínimo de obstáculo en el interior, de forma que sea fácil la mecanización de las operaciones de cultivo.
7. Fácil montaje y mínimos gastos de mantenimiento.
8. Máxima iluminación.
9. evacuación del agua de la cubierta con el mínimo goteo.
10. Duración.

Se deben edificar cercanos a terrenos de buen desagüe y suministro de agua.

4.6.5. Factores que determinan el asentamiento del invernadero

*** Topografía del terreno:**

Se deben preferir los terrenos nivelados, de esta manera las pendientes no serán un problema a resolver. En lo posible se debe disponer de un terreno con no más de un 20% de pendiente.

*** Viento:**

El viento es beneficioso para el cultivo, pues brinda ventilación al invernadero; pero si éstos atentan contra la integridad física del invernadero, deben ser contrarrestados con cortinas rompevientos.

*** Radiación solar:**

Los rayos solares, aumentan la temperatura al interior del invernadero; lo cual resulta beneficioso en el crecimiento de las plantas.

*** Recursos hídricos disponibles:**

Es conveniente poseer una fuente de agua cercana al invernadero.

*** Buena ventilación:**

Va ha depender del clima donde este ubicado.

*** Suelos:**

Suelos libres de parásitos, malezas y excesiva salinidad.

Dueños de un buen porcentaje de materia orgánica, aireación, drenaje y elementos nutritivos.

4.6.6. Requisitos que debe cumplir un invernadero*** Resistencia mecánica:**

Resistencia mecánica al granizo, vientos y fuertes aguaceros.

Se colocan cortinas rompevientos, cuando los vientos son excesivos.

*** Altura adecuada:**

Debe ser un tercio más alto, que la máxima altura de cultivo (4 metros).

*** Luminosidad:**

El invernadero debe captar una buena cantidad de rayos solares.

*** Disposición de las plantas en el invernadero:**

Deben estar dispuestas de tal modo que ninguna reste luz a la otra.

*** Efecto invernadero:**

Debe tener la capacidad de almacenar el calor generado en algunas horas picos del día y disipar este calor moderadamente, de tal manera que esta temperatura se pueda aprovechar en la noche.

*** Ventilación:**

Las cortinas de ventilación deben ocupar un 20 % o un 40% de la superficie total del invernadero. En zonas frías, estas cortinas deben ocupar menos superficie.

4.6.7. Materiales y equipos para la construcción de invernaderos

*** Materiales estructurales:**

Maderos, hierro.

*** Materiales de cobertura:**

Plásticos.

*** Materiales de ferretería:**

Alambre galvanizado número 6, 10, 12.

Clavos de diferente medida.

Grapas, metro, piolas plásticas.

Escavadoras, estacas, cabos.

Brochas, martillos, arcos de sierra, motosierra, etc.

4.6.8 Plásticos para invernaderos

Retienen el calor del día, evitan problemas por bajas temperaturas o heladas e impiden el paso de luz ultravioleta dañina y de insectos.

4.6.8.1 Tipos de plástico

*** Malla de plástico (sarán):**

- Material: Mallas de plástico negro.
- Ventajas: Bajo costo.
- Deja pasar aire al invernadero.
- Impide el paso de insectos y pájaros.
- Se recomienda su uso en: Clima cálido.

*** Polietileno normal:**

- Material: Polietileno normal.
- Desventajas:
 - Se daña fácilmente en presencia de luz solar excesiva.
 - Baja vida útil (4-6 meses).
 - No se recomienda su uso en invernaderos.

*** Polietileno uv:**

- Material: Polietileno con aditivos especiales, que evitan los daños causados por la luz ultravioleta.
- Ventajas: Vida útil considerable (18 meses). Es el más apropiado para invernaderos.
- Se recomienda su uso en Clima templado.

*** Polietileno térmico:**

- Material: Polietileno con aditivos especiales que evitan los daños causados por los rayos UV y tienen la capacidad de retener calor del día para conservarlo durante la noche.
- Ventajas: Vida útil considerable (24 meses). Aumenta de 2 a 4 OC de temperatura en la noche.
- Se recomienda su uso en Clima cálido.

*** Polietileno antiviral:**

Polietileno con aditivos de color amarillo o azul, que bloquean la entrada de luz del mismo color.

- Ventajas: Vida útil considerable (24 meses).
- Los colores afectan a los insectos, causándoles confusión en sus movimientos.
- Se recomienda su uso en Lugares donde existen insectos portadores de virus.

*** Otras calidades:**

- Material: Polietileno UV.
- Ventajas: Tiene un lado muy liso, que evita la acumulación de polvo (ANTI-POLVO). Tiene una capa especial en el interior, que no permite la caída de gotas de agua en el cultivo; evitando ciertas enfermedades (ANTI- NIEBLA). Evita sombras al interior del invernadero, mejorando la producción del cultivo (DIFUSIÓN DE LUZ).

4.6.8.2 Vida útil del plástico

Vida útil, es el tiempo durante el cual se conservan las características originales del plástico. El no considerar que la vida útil del plástico a expirado, puede traer problemas de bajo rendimiento y enfermedades en el cultivo. Generalmente el plástico se deteriora debido a los rayos UV. La vida útil efectiva esta afectada por cuatro factores:

*** Calidad del plástico:**

- Depende de la casa fabricante y de los procesos utilizados en su fabricación.

*** Calidad de la estructura :**

- Depende de la estructura construida para sostener el plástico, si son maderas delgadas; el plástico sufrirá roturas debido a que estos maderos son fácilmente movidos por el viento.

*** Degradación:**

- La aplicación de químicos en el cultivo puede afectar el plástico.
- La fricción entre el plástico y su sostén produce calor, que podría endurecer el plástico.
- Si las hojas del cultivo tocan el plástico, éstas pueden causar daños.

*** Forma de templado:**

Depende de la instalación física del plástico, si éste no se ha templado lo suficiente el viento puede causar roturas.

4.6.8.3. Calibre del plástico

Se refiere al grosor, este oscila desde el calibre 6 hasta el calibre 12 (1.5mm - 3.0mm).

CALIBRE	UTILIDAD
6 u 8	Cubiertas, cortinas y paredes.
10 ó 12	Canales de recolección de agua y tiras fijas que tocan el suelo.

Tabla 4.3. Tipos de calibres de plástico y su utilidad¹⁹.

4.6.9. Preparación del suelo y del invernadero

Se debe excavar 40 cm desde la superficie, con la finalidad de liberar de malezas al suelo y a la vez incorporar materia orgánica para obtener una mejor aireación y drenaje.

¹⁹ <http://www.plastiempaques.com>

4.6.9.1. Huachado de camas

Para el trazado de surcos se debe tener en cuenta los siguientes factores:

- * SISTEMA DE RIEGO DISPONIBLE.
- * DETALLES CONSTRUCTIVOS DEL INVERNADERO.
- * CARACTERÍSTICAS DE CRECIMIENTO DEL CULTIVO.
- * RECOMENDACIONES:
 - Mantener el terreno nivelado.
 - Tomar en cuenta la pendiente del terreno, al momento de hacer los surcos.
 - Se aconseja una distancia de 25 a 40 cm entre plantas y 90 a 120 cm entre hileras.

4.6.9.2. Soporte para tutoreo

Es importante instalar los postes que soportan el peso del invernadero y también los alambres que soportan el peso de plantas y frutos. Este soporte para tutoreo impide a la planta tornarse rastrera.

4.6.9.3. El semillero

En él se desarrolla la planta en su primera etapa de crecimiento. Debe estar cerca del invernadero al cual va a transplantarse posteriormente la planta y poseer una fuente de agua segura.

4.6.9.4. Siembra en cama

Los surcos transversales se trazan cada 10 cm. Las semillas se colocan en cada surco a una profundidad de 4 mm, separadas 2 cm entre una y otra.

4.6.9.5. Siembra en tubos

Se coloca la semilla en el centro de un tubo de 4cm de diámetro, hecho de papel periódico; a una profundidad de 4mm. Cada tubo contiene una mezcla de tierra y abono.

4.6.10 Tipos de invernaderos

Los principales invernaderos, por ser los más utilizados son:

4.6.10.1. Invernadero capilla



Figura 4.19 Invernadero tipo Capilla

Se le denomina capilla, pues por su forma característica se atribuye este nombre. Cuando la temperatura dentro del invernadero sube a más de lo aconsejado, el aire caliente se evacua por la ventanilla superior, llamada comúnmente cumbre. A presencia de heladas, se recomienda cerrar las ventanillas laterales.

Características generales

* Pendiente del techo:

-Varía entre 15° y 35°. De acuerdo a la radiación predominante en el medio.

* Ancho, largo y altura:

- Ancho de 5 a 2 metros.
- Largo variable.
- Altura de lateral entre 2 a 2,5 metros.
- Altura de cumbre entre 3 a 3,5 metros.

* Ventilación:

- Excelente ventilación unitaria.

- La ventilación en batería se dificulta.

Ventajas

- * Fácil construcción.
- * Bajo costo.
- * Se puede utilizar cobertura flexible o rígida.

Desventajas

- * Dificultad de ventilación en baterías.
- * Produce más sombra.
- * Los soportes internos dificultan la movilidad.
- * A menor altura de la cumbrera, encierra menor volumen de aire.

4.6.10.2 Invernadero capilla modificado

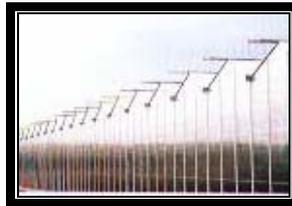


Figura 4.20. Invernadero tipo Capilla Modificado

Se le denomina capilla, pues por su forma característica se atribuye este nombre.

Características generales

Tiene una ventana cenital. Los postes se plantan cada 2 metros, tanto en el lateral como en la parte central, utilizándose postes sulfatados o impregnados con brea al menos en los 0,40 a 0,60 metros que van enterrados.

* Pendiente del techo:

- Varía entre 1 51' y 35L. De acuerdo a la radiación típica de la zona.

* Ancho, largo y altura:

- Ancho, 6 metros.
- Largo variable.
- Altura de lateral; 2,4 metros.
- Altura de cumbrera; 3,6 metros.
- Abertura cenital; 0,3 a 0,5 metros.

* Ventilacion:

- Excelente ventilación.

Ventajas

- * Medianamente fácil de construir.
- * Excelente ventilación.
- * Bajo costo.

Desventajas

- * A menor altura de la cumbrera, encierra menos volumen de aire.
- * Produce más sombra.
- * Los soportes internos dificultan la movilidad.

4.6.10.3. Invernadero diente de sierra

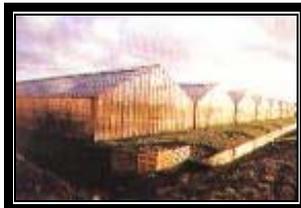


Figura 4.21. Invernadero tipo Dientes de Sierra

Se lo utiliza en zonas de baja precipitación y altos niveles de radiación.

Características generales

El acoplamiento de este tipo de invernadero, en forma de baterías dió origen al conocido nombre de diente de sierra.

* Pendiente del techo:

- Varía entre 50 y 152.

* Ventilacion:

- Excelente ventilación.

Ventajas

* Medianamente fácil de construir.

* Excelente ventilación.

* Bajo costo.

Desventajas

* Encierra menor volumen de aire.

* Produce mayor sombra.

4.6.10.4. Invernadero curvo



Figura 4.22. Invernadero tipo Curvo

Características generales

Son de tipo metálicos, con techos metálicos y postes de madera.

Se clasifican según la forma del techo:

- Circulares.
- Semi-elípticos.
- Medio punto.
- Ojivales, etc.

* Ancho, largo y altura:

- Ancho, 6 a 8 metros.
- Largo variable.
- Baja altura.

Ventajas

- * Alta transmitancia de luz solar.
- * Volumen interior de aire considerable.
- * Resistente a los vientos.
- * Fácil desplazamiento.
- * Construcción de mediana a baja complejidad.

Desventajas

- * Baja ventilación en batería.

4.6.10.5. Invernaderos de tubería galvanizada.

En realidad son de estructura mixta, ya que el armazón principal es de tubería galvanizada mientras que la parte que sirve de soporte al plástico es a base de

listones de madera. Pueden hacerse a una o dos vertientes, según la forma de desalojar las aguas de lluvia.

Con la construcción de un invernadero con tubería galvanizada en la armazón primaria se consigue una mayor perfección del mismo. Este material se ha extendido rápidamente para la construcción de invernaderos gracias a sus cualidades más sobresalientes, resistentes a la corrosión y el doblamiento, fácil manejo en instalaciones y solidez en su montaje, todo ello dentro de un costo no muy elevado.

Sus principales características positivas son:

- Su adaptación al terreno, tanto en lo que se refiere al desnivel como a las dimensiones de las parcelas donde van ubicadas. Este aspecto es de vital importancia por las irregularidades de las parcelas.
- Su adaptación a los cultivos hortícola más comunes como pepinos, pimientos, tomates, etc., donde en tutorado juega un papel importante, pudiéndose llevar a cabo con facilidad y formando un conjunto muy sólido.
- Su fácil manejo y control, permitiendo sus dimensiones, en especial la altura, que una ventilación bien implantada y correctamente realizada pueda aprovechar óptimamente las condiciones naturales de la zona.
- Durabilidad del armazón principal, facilidad de montaje y colocación, así como solidez del conjunto.

Entre los inconvenientes más visibles, en comparación con otros tipos de invernaderos, se encuentran:

- Pérdida de iluminación debido a la proximidad y grosor de los listones.
- Gastos de materiales (varillas, clavos, plásticos, etc.) y utilización de mano de obra en la colocación anual de la cubierta; actualmente las láminas de larga duración (dos o tres campañas) alivian algo este aspecto.
- Debilidad ante vientos huracanados. Se puede conseguir una gran resistencia a base de realizar una inversión inicial bastante más fuerte, circunstancia que tiene lugar en muchos casos.

- Dificultad para hacer las labores de preparación del terreno, en las que el uso del tractor es obligado, debido a la poca separación entre los pies derechos. Pero, por un lado la pericia de los tractoristas y, por otro, la aparición de tractores más pequeños pero de gran potencia han hecho que este inconveniente tenga menor trascendencia.

Pasos para la construcción de un Invernadero

Los pasos a dar en la construcción de un invernadero de ésta clase son:

Colocación de la base

Pueden ser de hormigón con forma tronco piramidal o bien de tubos prefabricados rellenos de hormigón; tanto en uno como en otro caso lleva una zapata con mezcla de hormigón y piedra.

Pies derechos

Son de tubería galvanizada de una pulgada y van empotrados en las bases, bien solos y abiertas en la parte en contacto con el hormigón bien con unos hierros soldados, que también van dentro de masa hormigonada.

Están colocados a tres por tres metros en los invernaderos a una vertiente y a tres por dos noventa metros en los que son a dos vertientes. La altura depende también del tipo de invernadero, siendo de tres metros en los primeros y de 3.5 metros los de cumbrera y de 2.5 metros los de canal de desagüe en los segundos.

Largueros

También son de tubería galvanizada de una pulgada, uniéndose entre si o bien a los pies derechos por medio de abrazaderas igualmente galvanizadas. Sobre ellos descansan los listones de madera con dimensiones de 5x3 cm. La unión entre ambos se consigue con alambre. La longitud de estos listones suele ser de 6 m., y su unión se realiza a base de clavos y con ayuda de trozos de listones más delgados.

4.6.11. Diseño del invernadero

Esquema del invernadero

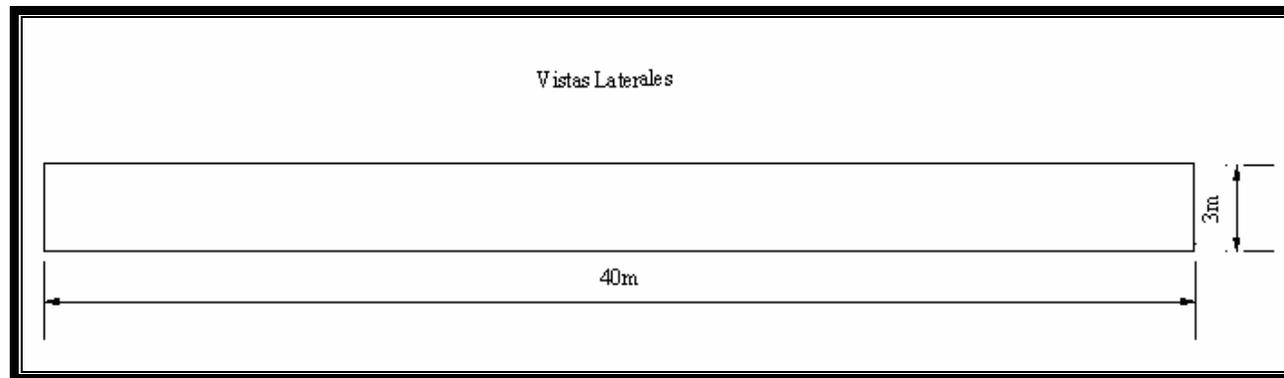


Figura 4.23.1 Vista lateral del Invernadero

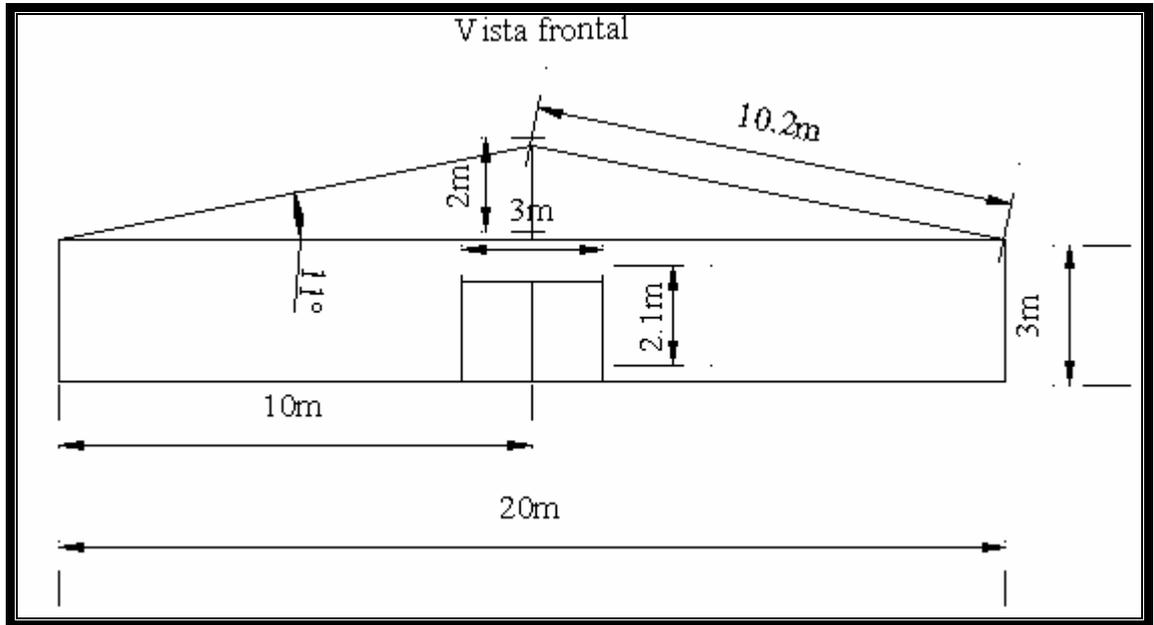


Figura 4.23.2 Vista frontal del Invernadero

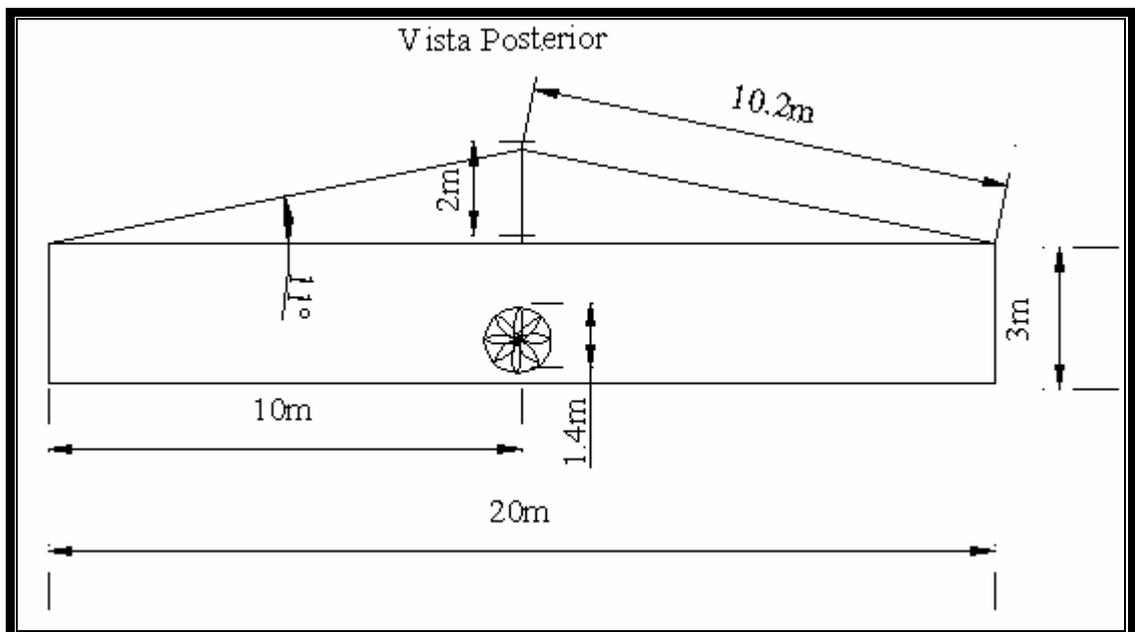


Figura 4.23.3 Vista posterior del Invernadero

Cubierta

El material más generalizado ha sido y es el polietileno usándose diferentes grosores y calidades, pero el que vamos a utilizar en la construcción de nuestro invernadero será el Térmico Natura calibre 8 fabricado por PlastiEmpaque de la ciudad de Guayaquil.

Ventilación del Invernadero

La ventilación consiste en la renovación del aire dentro del recinto 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. Por lo tanto la ventilación que se va a utilizar en el campo de aplicación es un simple ventilador de grandes dimensiones ubicado en la parte baja del invernadero, y en la parte superior de la misma pared del invernadero se colocara un ventanal con la finalidad de que el aire circule desde la parte más baja hasta la parte más alta. Esto debido a que el aire caliente tiende a subir mientras que el aire frío ocupa la parte más baja.



Figura 4.24 Sistema de ventilación del Invernadero

Calefacción del Invernadero

El tipo de calefacción utilizado en nuestro invernadero consiste en hacer circular aire caliente provocado por una máquina de turbo calor y dirigido hacia dentro del invernadero mediante motores (ventiladores). La regulación del funcionamiento de los equipos de calefacción puede implicar uno o varios actuadores en función del tipo

de instalación y de su grado de sofisticación y capacidad de control. En los equipos de calefacción por aire caliente se puede controlar el aporte de calor en función del caudal de combustible que se quema. En las instalaciones de calefacción por agua caliente el control de la energía calorífica transmitida al aire del invernadero se puede realizar mediante la regulación de varios parámetros, como los caudales de agua circulante en los circuitos primario y secundario, o las temperaturas del agua de entrada y salida en el invernadero.

Tanto en el caso de los calefactores de aire como en el de los quemadores de las calderas, se puede regular el caudal de combustible que se quema mediante una electroválvula. Este actuador transforma una señal eléctrica en la abertura o cierre de una válvula de forma que el equipo de control puede determinar el grado de apertura en función del caudal que es necesario quemar. En las instalaciones de calefacción por agua caliente se utilizan una o varias bombas eléctricas para impulsar el agua y regular su circulación a lo largo de los circuitos primario, o de elevada temperatura, y secundario, o de baja temperatura. Las bombas pueden ser de caudal fijo o variable. En el primer caso el equipo de control envía una señal eléctrica que permite poner en marcha o parar la bomba. En el segundo, el controlador puede actuar modificando el caudal que impulsa la bomba.

Las electroválvulas de tres vías son actuadores que se utilizan para regular la mezcla de agua a dos temperaturas diferentes, con el fin de modificar la temperatura de entrada en el circuito secundario dentro del invernadero. Así se puede controlar el aporte de calor que permitirá variar la temperatura y humedad relativa del aire del invernadero.

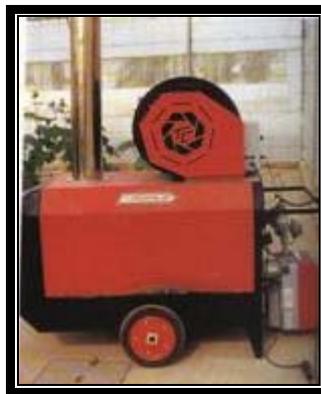


Figura 4.25 Maquina generadora de calor utilizada en el Sistema de Calefacción del Invernadero

Iluminación del invernadero

La iluminación de éste invernadero se la realizará por medio de lámparas de Haluro Metálico debido a su abundancia de luz en el espectro azul, su alto rendimiento luminoso que es del 90%, su larga duración y contribuye cuantitativamente en el crecimiento de las plantas. Además es factible controlar la cantidad de luz de emisión por medio PWM.



Figura 4.26 Iluminación artificial con lámparas de Haluro Metálico

Riego del Invernadero

El riego utilizado para éste invernadero será mediante aspersores, cuyo funcionamiento es mecánico, éste dispositivo deja pasar el agua en forma de lluvia y gira debido a la presión con que se envía el agua, cubre aproximadamente 5 metros a la redonda, el agua se la envía a los aspersores con una bomba de 2HP, suficiente para cubrir el área indicada.

Presupuesto para la construcción del invernadero.**Costo de materiales y equipos****Materiales**

MATERIALES	CANTIDAD	V. UNIDAD	V. TOTAL
Abrazadera Galvanizada 1"	60	0.35	21
Alambre # 16 por Lb.	30	0.62	18.6
Aspersores	8	20.00	160
Breaker	4	4.60	18.4
Cable # 8 (m)	100	0.52	52
Cable #10 (m)	180	0.38	68.4
Cable Multipar de 2' (m)	100	0.25	25
Cable Multipar de 4' (m)	20	0.25	5
Cable Multipar de 8' (m)	12	0.40	4.8
Caja de Breaker	1	18.00	18
Cemento	8	5.90	47.2
Cinta Aislante	10	0.65	6.5
Cinta Plástica negra	25	1.20	30
Clavos de 2,5" Lb.	10	0.50	5
Codo Galvanizado 1"	135	0.4	54
Codos PVC 3/4"	5	0.30	1.5
Lámparas de 40W	28	14.00	392
Listones de madera de 3 m.	28	3.50	98
Llave de paso 3/4"	1	4.50	4.5
Polietileno Termico Natural por Kilos	420	2.65	1113
Puerta metálica 2 planchas	1	280.00	280
Teflón	14	0.15	2.1
Terreno (metro cuadrado)	800	2.50	2000
Tubo PVC de 3/4" (m)	80	1.50	120
Tubo roscable galvanizado de 1" (m)	4876	2.92	14237.92
Tubos Para empotrado de 1/2"	25	0.65	16.25
Union en T galvanizada de 1"	120	0.35	42
Unión en T PVC 3/4"	7	0.30	2.1
Union galvanizada 1"	160	0.35	56
Sensor de humedad	3	110	330
Sensor de Iluminación	1	15.00	15
Sensor de Temperatura	1	12.50	12.5
		TOTAL	19256.77

Tabla 4.4. Costo de materiales

Equipo

EQUIPO	CANTIDAD	V. UNIDAD	V. TOTAL
Computadora	1	600	600
Bomba de Riego de 4 Hp	1	560	560
Calefactor	1	3000	3000
Motor de Ventilación	1	600	600
Tarjeta de Adquisición de Datos	1	90	90
		TOTAL	4850

Figura 4.5. Costo de los Equipos utilizados en el Invernadero.**Ingresos de la producción de Tomate y Pimiento por Año**

INGRESOS		
Tomate (lbs)	28200	
Precio tomate	0.25	7050
Pimiento (lbs)	26400	
Precio pimiento	0.2	5280
TOTAL		12330

Tabla 4.6. Ingreso de la producción de Tomate y Pimiento por año

Flujo de caja

CONCEPTOS		Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Inversión	-24107										
Ingresos											
Tomate		7050	7050	7050	7050	7050	7050	7050	7050	7050	7050
Pimiento		5280	5280	5280	5280	5280	5280	5280	5280	5280	5280
Total ingresos		12330	12330	12330	12330	12330	12330	12330	12330	12330	12330
Egresos											
mano de obra		1920	1920	1920	1920	1920	1920	1920	1920	1920	1920
Electricidad		600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
Agua		120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
Depreciación		485	485	485	485	485	485	485	485	485	485
Total egresos		3125	3125	3125	3125	3125	3125	3125	3125	3125	3125
Utilidad antes de impuestos		9205	9205	9205	9205	9205	9205	9205	9205	9205	9205
40% impuesto		3682	3682	3682	3682	3682	3682	3682	3682	3682	3682
Utilidad después de impuestos		5523	5523	5523	5523	5523	5523	5523	5523	5523	5523
Depreciación (escudo fiscal)		194	194	194	194	194	194	194	194	194	194
Flujo Operativo		5717	5717	5717	5717	5717	5717	5717	5717	5717	5717
Flujo de Beneficios del Proyecto	-24107	5717	5717	5717	5717	5717	5717	5717	5717	5717	5717

Tabla 4.7. Flujo de caja del proyecto.

Tasa de corte	13%
VAN (valor actual Neto)	\$6,915
TIR (tasa interna de Rendimiento)	20%

Tabla 4.8. Análisis de los métodos de Evaluación, TIR y VAN

4.7 Conclusiones Generales

- La siembra de productos en invernaderos resulta provechosa ya que la producción se incrementa de 50 a 160 toneladas por hectárea semestralmente, brindando un producto sano en cualquier época del año.
- El control automático aplicado en invernaderos disminuye los costos de recursos humanos y permite optimizar el consumo de agua y energía eléctrica.
- Para un correcto funcionamiento del sistema de control, se debe dar un mantenimiento periódico, dirigida principalmente a los sensores y a los cables que conducen las señales, desde los sensores hasta la etapa de adquisición de datos, debido a que se ven afectados por la humedad.
- Dependiendo de las dimensiones del invernadero, se debe determinar el número de ventiladores, calefactores, y número de lámparas, considerando que cada lámpara cubre un diámetro de 5 metros, así como también el número de aspersores considerando que cada uno de ellos cubre un radio de 5 metros.

Bibliografía

- **Revista Megavoltios N° 208:** revista técnica de automatización, medición y control para ingeniería eléctrica y electrónica industrial.
- **www.sensormag.com:** página con información de todo tipo de sensores.
- **www.raytek.com:** empresa fabricante de sensores térmicos.
- **www.isa.org:** The instrumentation, Systems and Automation Society
- **www.sensorsportal.com:** Publicación Electrónica de IFSA, Internacional Frequency Sensor Association.
- **www.andersoncontrols.com,** Compañía canadiense de dispositivos de automatización.
- **www.infoAgro.com,** pagina con información sobre cultivos en invernaderos.
- **www.infoJardin.com,** pagina con información sobre cultivos en invernaderos.
- **www.tusplantas.com,** pagina con información sobre como instalar y dar mantenimiento a invernaderos.
- Folleto de plásticos producidos por PLASTIEMPAQUE S.A.
- **Enciclopedia Practica de la Agricultura y Ganadería,** Grupo editorial Océano, Edición I, 2001
- **Microcontroladores PIC Diseño Practico de aplicaciones,** José Angulo e Ignacio Angulo, Segunda Edición, 1991
- **AUTOCAD 2000,** Elizabeth Reyes, Primera Edición, 2001.