

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, SEDE QUITO

FACULTAD DE INGENIERIAS

CARRERA DE INGENIERIA MECANICA

Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN INVERNADERO A ESCALA CON
CLIMATIZACIÓN, PARA EL LABORATORIO DE TERMODINÁMICA DE
INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UPS.**

AUTOR: JOHN PAUL PALACIOS ROJAS

DIRECTOR: ING. TOMÁS IBUJÉS VILLACÍS

Quito, Junio del 2010

AGRADECIMIENTOS

Agradezco ante todo a Dios que fue mi guía para poder culminar el presente trabajo, a mi Papá John Nelson Palacios Carvajal y mi Mamá Luz Victoria Rojas Flores por todo el respaldo incondicional y la paciencia que me brindaron ya que sin su apoyo este trabajo no hubiese sido posible.

John Paul

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi esposa Evelyn Andrea Narváez Guerrero y mi hija María José Palacios Narváez quienes me apoyaron en todo momento, tuvieron fe en mi y sobre todo fueron mi inspiración día a día para culminar este trabajo y así ser una mejor persona, un mejor profesional, un mejor esposo y padre.

Las amo mis amores

John Paul

CERTIFICADO

Yo, Ing. Tomás Ibujés, certifico que este trabajo previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico ha sido realizado en su totalidad por el Sr. John Paul Palacios Rojas.

Atentamente;

Ing. Tomás Ibujés Villacís

CERTIFICADO

Los conceptos desarrollados, análisis realizados y las conclusiones del trabajo, son de exclusiva responsabilidad del Autor: John Paul Palacios Rojas.

Quito, Junio del 2010

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La termodinámica, refrigeración y transferencia de calor son una parte importante de la ingeniería mecánica, ya que en estos últimos años se han puesto de manifiesto debido a su avance técnico, aprovechamiento de las necesidades energéticas y por el aporte importante que dan al cuidado del medio ambiente.

Para lograr un mejor entendimiento y demostración de las leyes y principios de las asignaturas antes mencionadas, es necesario realizar prácticas que permitan observar y analizar todo lo que ocurre alrededor de un sistema termodinámico.

En el laboratorio de termodinámica de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana, hace falta implementar un sistema termodinámico que permita realizar prácticas y demostraciones, y de esta forma conseguir una mejor formación de los futuros profesionales dentro de esta carrera.

II. JUSTIFICACION

Al no existir un sistema termodinámico unificado de aire acondicionado (refrigeración), como de calefacción (transferencia de calor), se plantea el diseño y construcción de un invernadero a escala con climatización para el laboratorio de termodinámica de Ingeniería Mecánica de la UPS, donde se pueda realizar pruebas, mediciones, análisis, y toma de decisiones con respecto a las diferentes variables que intervienen dentro de un proceso termodinámico; aportando criterios aprendidos durante la carrera y vincular la teoría con la práctica.

III. OBJETIVO GENERAL:

Diseñar y construir un invernadero a escala con climatización, para el laboratorio de termodinámica de Ingeniería Mecánica de la UPS.

IV. OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Investigar las características y procesos necesarios como temperatura y humedad, para mantener en óptimas condiciones a las rosas durante su crecimiento.
- Realizar el diseño del sistema de climatización en base a los requerimientos y parámetros necesarios para la conservación de las rosas, en el cual se seleccionan todos los elementos y equipos necesarios para su construcción.
- Realizar la construcción del invernadero en base al diseño realizado y con los componentes escogidos.
- Realizar pruebas del sistema y mediciones que permitan validar su funcionamiento.

V. ALCANCE

En el presente proyecto se climatiza un invernadero a escala de laboratorio como se muestra en la figura 1, en la ciudad de Quito. Se calcula las cargas de flujo de calor, cambios de aire, carga del producto y cargas varias en las cuales intervienen: cargas por alumbrado, cargas por ventiladores y cargas por personas. Posteriormente se realiza un estudio psicométrico del aire del invernadero.



Figura 1 Invernadero a escala de laboratorio

Se realiza la climatización del invernadero a escala de laboratorio a través de un microcontrolador PIC18F2550 mostrado en la figura 2 y un sensor DC-SS500 mostrado en la figura 3.

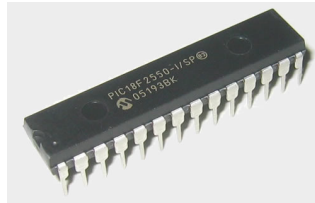


Figura 2 Microcontrolador PIC18F2550 de microchip



Figura 3 Sensor DC-SS500

Se realiza el diseño del software y del firmware para el microcontrolador PIC18F2550, así como el software para el desarrollo de la interfaz gráfica para el computador como se muestra en la figura 4.



Figura 4 Interfaz gráfica

Índice general

Capítulo 1

CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE TERMODINÁMICA, TRANSFERENCIA DE CALOR Y PSICROMETRÍA DEL AIRE

1.1	Termodinámica	1
1.1.1	Calor y temperatura	2
1.1.2	Escala de temperatura	2
1.2	Ley cero de la termodinámica	3
1.3	Primera ley de la termodinámica	4
1.4	Segunda ley de la termodinámica	5
1.5	Sistemas termodinámicos	5
1.5.1	Sistema cerrado	6
1.5.2	Sistema abierto	6
1.6	Ecuaciones de la energía	7
1.6.1	Ecuaciones de calor sensible y latente	8
1.6.2	Ecuación para calor sensible	8
1.6.3	Ecuación del calor latente	9
1.7	Introducción a la transferencia de calor	9
1.7.1	Tipos de transferencia de calor	10
1.7.1.1	Conducción	10
1.7.1.2	Convección	10

1.7.1.3	Radiación	11
1.8	Psicometría del aire	11
1.8.1	Composición de aire	12
1.8.1.1	Ley de Dalton	12
1.8.2	Temperatura del punto de rocío	13
1.8.3	Máximo contenido de vapor de agua	13
1.8.4	Humedad absoluta	14
1.8.5	Humedad relativa	14
1.8.6	Relación de humedad	15
1.8.7	Relación de saturación	15
1.8.8	Temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo	16
1.8.9	Contenido de calor o entalpía del aire	16
1.8.9.1	Calor sensible del aire	17
1.8.9.2	Calor latente del aire	18
1.8.9.3	Calor total de aire	20
1.8.10	Temperatura bulbo húmedo (bh) como índice del calor total	22
1.8.11	Aire estándar	22
1.8.12	Cartas psicrométricas	23

Capítulo 2

DISEÑO DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN

2.1	Condiciones climáticas de la zona	26
2.2	Requerimientos climáticos	28
2.2.1	Temperatura	28
2.2.2	Humedad	29
2.3	Estudio de invernadero	29
2.3.1	Características del invernadero	30
2.3.1.1	Dimensiones del invernadero	31
2.3.1.2	Materiales de construcción del invernadero	31
2.3.1.3	Potencia y tipo de alumbrado	32
2.4	Cálculo de las áreas del invernadero	33
2.4.1	Cálculo de las áreas netas de las paredes del invernadero	33
2.4.2	Cálculo del área neta de la puerta del invernadero	35
2.4.3	Cálculo del área neta del techo del invernadero	36
2.4.4	Cálculo del área neta del piso del invernadero	36
2.5	Cálculo de ganancias de calor (cargas termodinámicas)	37
2.5.1	Condiciones ideales internas deseadas en los invernaderos real y a escala	

2.5.2	Calculo de cargas termodinámicas externas máximas en el día del invernadero	38
2.5.2.1	Conducción a través de las paredes del invernadero	38
2.5.2.2	Conducción a través del techo del invernadero	40
2.5.2.3	Conducción a través de la puerta del invernadero	42
2.5.2.4	Conducción a través del piso del invernadero	44
2.5.3	Cálculo de cargas termodinámicas externas máximas en el día del invernadero	46
2.5.3.1	Cambios de aire del invernadero	47
2.5.3.2	Carga del producto del invernadero	48
2.5.3.3	Cargas varias del invernadero	50
2.5.3.3.1	Cargas por alumbrado del invernadero	50
2.5.3.3.2	Cargas por ventiladores del invernadero	51
2.5.3.3.3	Carga sensible por ventilación del invernadero	52
2.5.3.3.4	Carga latente por ventilación del invernadero	53
2.5.3.3.5	Cargas por personas del invernadero	55
2.5.4	Resumen de cargas máximas en el día del invernadero	56
2.5.5	Cálculo de cargas termodinámicas externas mínimas en la noche del invernadero	57
2.5.5.1	Conducción a través de las paredes del invernadero	57
2.5.5.2	Conducción a través del techo del invernadero	57

2.5.5.3	Conducción a través de la puerta del invernadero	58
2.5.5.4	Conducción a través del piso del invernadero	59
2.5.6	Cálculo de cargas termodinámicas internas mínimas en la noche del invernadero	59
2.5.6.1	Cambios de aire del invernadero	60
2.5.6.2	Carga del producto del invernadero	60
2.5.6.3	Cargas varias	60
2.5.6.3.1	Cargas por alumbrado del invernadero	60
2.5.6.3.2	Cargas por ventiladores del invernadero	61
2.5.6.3.3	Carga sensible por ventilación del invernadero	61
2.5.6.3.4	Carga latente por ventilación del invernadero	62
2.5.6.3.5	Cargas por personas del invernadero	63
2.5.7	Resumen de cargas mínimas en la noche del invernadero	64
2.5.8	Dimensiones del invernadero a escala	65
2.5.8.1	Materiales de construcción del invernadero a escala	65
2.5.8.2	Material del alumbrado simulado por resistencia tubular	66
2.9	Cálculo de las áreas del invernadero a escala	66
2.9.1	Cálculo de las áreas netas de las paredes del invernadero a escala	67
2.9.2	Cálculo del área neta de la puerta del invernadero a escala	69
2.9.3	Cálculo del área neta del techo del invernadero a escala	70

2.9.4	Cálculo del área neta del piso del invernadero a escala	70
2.10	Cálculo de cargas termodinámicas externas máximas en el día del invernadero a escala	71
2.10.1	Conducción a través de las paredes del invernadero a escala	71
2.10.2	Conducción a través del techo del invernadero a escala	73
2.10.3	Conducción a través de la puerta del invernadero a escala	74
2.10.4	Conducción a través del piso del invernadero a escala	75
2.11	Cálculo de cargas termodinámicas internas máximas en el día del invernadero a escala	77
2.11.1	Cambios de aire del invernadero a escala	77
2.11.2	Carga del producto del invernadero a escala	77
2.11.3	Cargas varias del invernadero a escala	77
2.11.3.1	Cargas por alumbrado simulado por resistencia tubular del invernadero a escala	78
2.11.3.2	Cargas por ventiladores del invernadero a escala	79
2.11.3.3	Carga sensible por ventilación del invernadero a escala	79
2.11.3.4	Carga latente por ventilación del invernadero a escala	79
2.11.3.5	Cargas por personas del invernadero a escala	80
2.12	Resumen de cargas máximas en el día del invernadero a escala	80
2.13	Cálculo de cargas termodinámicas externas mínimas en la noche del invernadero a escala	81

2.13.1	Conducción a través de las paredes del invernadero a escala	81
2.13.2	Conducción a través del techo del invernadero de escala	82
2.13.3	Conducción a través de la puerta del invernadero de escala	83
2.13.4	Conducción a través del piso del invernadero de escala	84
2.14	Cálculo de cargas termodinámicas internas mínimas en la noche del invernadero a escala	85
2.14.1	Cambios de aire del invernadero a escala	85
2.14.2	Carga del producto del invernadero a escala	85
2.14.3	Cargas varias del invernadero a escala	86
2.14.3.1	Cargas por alumbrado simulado por resistencia tubular del invernadero a escala	86
2.14.3.2	Cargas por ventiladores del invernadero a escala	86
2.14.3.3	Carga sensible por ventilación del invernadero a escala	87
2.14.3.4	Carga latente por ventilación del invernadero a escala	87
2.14.3.5	Cargas por personas del invernadero a escala	87
2.15	Resumen de cargas máximas en el día del invernadero a escala	88
2.16	Cuadros comparativos entre las cargas del invernadero de escala real con el invernadero a escala	89
2.16.1	Cuadros comparativos de cargas máximas en el día	89
2.16.2	Cuadros comparativos de cargas mínimas en la noche	90
2.17	Estudio psicométrico del aire del invernadero real y a escala	91
2.17.1	Punto de rocío	91

2.17.2	Humedad absoluta	92
2.17.3	Humedad relativa	92
2.17.4	Relación de humedad	92
2.17.5	Contenido de calor o entalpía del aire	92
2.17.5.1	Calor sensible	93
2.17.5.2	Calor latente	93
2.17.5.3	Calor total del aire	94
2.17.6	Temperatura de bulbo húmedo como índice de calor	94
2.17.7	Aire estándar	94

Capítulo 3

AUTOMATIZACIÓN DEL INVERNADERO A ESCALA

3.1	Proceso a automatizar	96
3.2	Parámetros de control	96
3.3	Descripción del proceso	99
3.4	Secuencia del proceso	101
3.5	Descripción de la maqueta	102
3.5.1	Planta física	102
3.5.2	Equipo de suministro	103
3.5.3	Equipo de extracción	103
3.5.4	Equipo eléctrico y de control	103
3.6	Elementos de control	104
3.6.1	Sensor de temperatura y humedad	104

3.6.2	Microcontrolador pic18f2550	106
3.6.2.1	Circuito de reset externo y oscilador de 4 MHz para el PIC18f2550	109
3.6.3	Visualizador de cristal líquido (LCD)	110
3.6.4	Comunicación	112
3.6.4.1	Conectores USB	112
3.6.4.2	Transmisión USB	114
3.6.5	Salidas físicas – relé de estado sólido	115
3.6.5.1	Circuito de aislamiento entre la señal de salida y el microcontrolador	116
3.6.5.2	Salidas de control para los ventiladores	118
3.6.6	Fuente de alimentación	119
3.7	Circuito completo del sistema de control	121
3.8	Programa para el microcontrolador	123
3.8.1	Diagrama de flujo	125
3.8.2	Configuración del microcontrolador	127
3.8.3	Configuración de la comunicación serial	128
3.8.4	Configuración del LCD	129
3.8.5	Subrutina de calefacción	131
3.8.6	Subrutina de vaporización	131
3.8.7	Subrutina de ventilación	132

Capítulo 4

PROGRAMACIÓN DE LA INTERFAZ GRÁFICA (HMI)

4.1	Descripción y análisis de las herramientas computacionales utilizadas	133
4.1.1	Microcode studio PICBasic pro	134
4.1.2	Easyhid USB wizard	134
4.1.3	Visual BASIC 6.0	138
4.2	Formulario principal	139
4.3	Formulario gráfico estadístico	142

Capítulo 5

EXPERIMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

5.1	Propósito de la experimentación	145
5.2	Instrumentos utilizados en la medición	145
5.3	Ubicación de los instrumentos de medición	145
5.4	Pruebas del manejo de los actuadores	146
5.4.1	Pantallas LCD	146
5.4.2	Procedimiento para las pruebas	147
5.4.3	Registro de datos de la primera prueba	148
5.5	Prueba de la interfaz microcontrolador-PC	153

Capítulo 6

CONCLUSIONES Y RESOMENDACIONES

6.1	Conclusiones	159
6.2	Recomendaciones	160

Índice de figuras

Capítulo 1

Figura 1.1	Escala de temperaturas	2
Figura 1.2	Sistema	6
Figura 1.3	Sistema cerrado	6
Figura 1.4	Sistema abierto	7
Figura 1.5	Psicrómetro	16
Figura 1.6	Diagrama psicométrico	25
Figura 1.7	Diagrama psicométrico conceptual	25

Capítulo 2

Figura 2.1	Plano del invernadero	30
Figura 2.2	Plano de la pared norte en metros	33
Figura 2.3	Plano de la pared sur en metros	34
Figura 2.4	Plano de la pared este en metros	34
Figura 2.5	Plano de la pared oeste en metros	35
Figura 2.6	Plano de la puerta en metros	35
Figura 2.7	Plano del techo en metros	36
Figura 2.8	Plano del piso en metros	36
Figura 2.9	Sección transversal de la pared	39
Figura 2.10	Sección transversal del techo	41
Figura 2.11	Sección transversal de la puerta	43
Figura 2.12	Sección transversal del piso	45

Figura 2.13	Plano del invernadero en metros	47
Figura 2.14	Plano de la pared norte en milímetros	67
Figura 2.15	Plano de la pared sur en milímetros	68
Figura 2.16	Plano de la pared este en milímetros	68
Figura 2.17	Plano de la pared oeste en milímetros	69
Figura 2.18	Plano de la puerta en milímetros	69
Figura 2.19	Plano del techo en milímetros	70
Figura 2.20	Plano del piso en milímetros	70
Figura 2.21	Sección transversal de la pared	71
Figura 2.22	Sección transversal del techo	73
Figura 2.23	Sección transversal de la puerta	74
Figura 2.24	Sección transversal del piso	75

Capítulo 3

Figura 3.1	Control tipo ON-OFF	97
Figura 3.2	Control de temperatura ambiente con lazo de histéresis	98
Figura 3.3	Control de humedad relativa con lazo de histéresis	98
Figura 3.4	Planta física del invernadero a escala	102
Figura 3.5	Sensor DC-SS500 y distribución de pines	105
Figura 3.6	Conexión del sensor con el microcontrolador	106

Figura 3.7	Microcontrolador PIC18F2550 de microchip	107
Figura 3.8	Distribución de pines del microcontrolador PIC18F2550	108
Figura 3.9	Configuración del oscilar de cristal	110
Figura 3.10	Pantalla LCD 16 x 2 con luz posterior	110
Figura 3.11	Conector USB tipo A y tipo B	112
Figura 3.12	Esquema completo de conexiónado del conector USB tipo B	114
Figura 3.13	Relé de estado sólido	116
Figura 3.14	Salida del microcontrolador optoacoplada- Relé de estado sólido	117
Figura 3.15	Salida del microcontrolador conectada a un ventilador	118
Figura 3.16	Fuente rectificadora tipo LLAS3000 – diagrama de bloques	120
Figura 3.17	Distribución de pines del regulador de voltaje LM7805CT	121
Figura 3.18	Fuente de alimentación de 5V	121
Figura 3.19	Circuito completo del sistema de control	122
Figura 3.20	Diagrama del diseño de la placa PCB	123
Figura 3.21	Ventana del compilador PICBasic Pro versión 2.47.	124
Figura 3.22	Símbolos para diagramas de flujo	126
Figura 3.23	Diagrama de flujo del programa principal	126
Figura 3.24	Diagrama de flujo de la configuración del microcontrolador	127
Figura 3.25	Proceso de inicialización del EUSART	129
Figura 3.26	Inicialización del LCD	130
Figura 3.27	Configuración del LCD	130

Figura 3.28	Subrutina de calefacción	131
Figura 3.29	Subrutina de vaporización	131
Figura 3.30	Subrutina de ventilación	132

Capítulo 4

Figura 4.1	EasyHID USB wizard	135
Figura 4.2	Nombre de producto y nombre de la compañía.	135
Figura 4.3	Vendor ID y el product ID	136
Figura 4.4	Selección de los lenguajes de comunicación	136
Figura 4.5	Pantalla final del easyHID wizard	137
Figura 4.6	Código generado por el wizard	137
Figura 4.7	Interfaz de visual basic 6.0	138
Figura 4.8	Diagrama de flujo formulario principal	139
Figura 4.9	Formulario principal	140
Figura 4.10	Hoja de excel generada por la aplicación	142
Figura 4.11	Formulario gráfico estadístico	143
Figura 4.12	Diagrama de flujo del formulario gráfico estadístico	144

Capítulo 5

Figura 5.1	Pantallas del LCD	147
Figura 5.2	Valor de humedad y temperatura en la prueba No 1	150
Figura 5.3	Valor de humedad y temperatura en la prueba No 2	152
Figura 5.4	Dispositivo encontrado y listo para usarse	154
Figura 5.5	Formulario principal recibiendo datos	154
Figura 5.6	Libro generado en excel	155
Figura 5.7	Resultado de presionar el botón imprimir	156
Figura 5.8	Gráfico estadístico generado por defecto	156
Figura 5.9	Ejemplo 1 tipo de gráfico 3D Bar	157
Figura 5.10	Ejemplo 2 tipo de gráfico 3D Line	157

Índice de tablas

Capítulo 2

Tabla 2.1	Condiciones climáticas de temperaturas máximas según el INAMHI	27
Tabla 2.2	Condiciones climáticas de temperaturas mínimas según el INAMHI	27
Tabla 2.3	Condiciones climáticas de humedad según el INAMHI	28
Tabla 2.4	Condiciones climáticas internas de temperatura deseada	29
Tabla 2.5	Condiciones climáticas internas de humedad deseada	29
Tabla 2.6	Dimensiones del invernadero	31
Tabla 2.7	Material de las paredes	31
Tabla 2.8	Material del techo	32
Tabla 2.9	Material del suelo	32
Tabla 2.10	Material de la puerta	32
Tabla 2.11	Material del alumbrado	32
Tabla 2.12	Área neta de pared norte	33
Tabla 2.13	Área neta de pared sur	34
Tabla 2.14	Área neta de pared este	34
Tabla 2.15	Área neta de pared oeste	35
Tabla 2.16	Área neta de la puerta	35
Tabla 2.17	Área neta del techo	36
Tabla 2.18	Área neta del piso	37
Tabla 2.19	Condiciones climáticas externas promedio según el INAMHI	38
Tabla 2.20	Condiciones climáticas internas deseadas en los invernaderos real y a escala de laboratorio	38
Tabla 2.21	Suma de áreas netas de las paredes	40

Tabla 2.22	Volumen interior del invernadero	47
Tabla 2.23	Condiciones climáticas internas de temperatura deseada (Luz)	49
Tabla 2.24	Cantidad de masa mol	49
Tabla 2.25	Resumen de cargas máximas en el día del invernadero	56
Tabla 2.26	Resumen de cargas mínimas en la noche del invernadero	64
Tabla 2.27	Dimensiones del invernadero	65
Tabla 2.28	Material de las paredes	65
Tabla 2.29	Material del techo	65
Tabla 2.30	Material del suelo	66
Tabla 2.31	Material de la puerta	66
Tabla 2.32	Material del alumbrado simulado por resistencia tubular	66
Tabla 2.33	Área neta de pared norte	67
Tabla 2.34	Área neta de pared sur	68
Tabla 2.35	Área neta de pared este	68
Tabla 2.36	Área neta de pared oeste	69
Tabla 2.37	Área neta de la puerta	69
Tabla 2.38	Área neta del techo	70
Tabla 2.39	Área neta del piso	71
Tabla 2.40	Suma de áreas netas de las paredes	72
Tabla 2.41	Resumen de cargas máximas en el día del invernadero a escala	81
Tabla 2.42	Resumen de cargas mínimas en la noche del invernadero a escala	88
Tabla 2.43	Cuadros comparativos de cargas máximas en el día	89
Tabla 2.44	Cuadros comparativos de cargas mínimas en la noche	90

Capítulo 3

Tabla 3.1	Combinación de las variables a controlar	98
Tabla 3.2	Rangos de control en función de la temperatura y humedad	99
Tabla 3.3	Casos de control en función de las variables	100
Tabla 3.4	Descripción de pines del DC-SS500	105
Tabla 3.5	Características del sensor de humedad y temperatura	106
Tabla 3.6	Especificaciones eléctricas del LCD	110
Tabla 3.7	Distribución de pines de LCD	111
Tabla 3.8	Estandarización normalizada colores de hilos cable USB	113

Capítulo 5

Tabla 5.1	Registro de datos de la primera prueba del funcionamiento de los actuadores del invernadero	149
Tabla 5.2	Registro de datos de la segunda prueba del funcionamiento de los actuadores del invernadero	151

Bibliografia

Bibliografia

162

Anexos

Anexos 2.0 a	Condiciones climáticas para quito, septiembre 2008 (INAMHI)	165
Anexos 2.0 b	Condiciones climáticas para quito, octubre 2008 (INAMHI)	167
Anexos 2.0 c	Condiciones climáticas para quito, noviembre 2008 (INAMHI)	169
Anexos 2.0 d	Condiciones climáticas para quito, diciembre 2008 (INAMHI)	171
Anexos 2.0 e	Condiciones climáticas para quito, enero 2009 (INAMHI)	173
Anexos 2.0 f	Condiciones climáticas para quito, febrero 2009 (INAMHI)	175
Anexos 2.0 g	Condiciones climáticas para quito, marzo 2009 (INAMHI)	177
Anexos 2.0 h	Condiciones climáticas para quito, abril 2009 (INAMHI)	179
Anexos 2.0 i	Condiciones climáticas para quito, mayo 2009 (INAMHI)	181
Anexos 2.0 j	Condiciones climáticas para quito, junio 2009 (INAMHI)	183
Anexos 2.0 k	Condiciones climáticas para quito, julio 2009 (INAMHI)	185
Anexo 2.1	Conductancia termina	186

Anexo 2.2	Cambios de aire promedio por 24 horas	187
Anexo 2.3	Factor de calor equivalente de motores eléctricos	187
Anexo 2.4	Ventilación requerida por ocupantes	188
Anexo 2.5	Propiedades del vapor saturado	189
Anexo 2.6	Temperatura de bulbo húmedo como índice de calor	189
Anexo 2.7	Tasas de calor ganado por ocupantes según espacio	190
Anexo 2.8	Carta psicrométrica	190
Anexo 2.9	Factor de calor sensible cargado por persona	191

Planos

Planos

192

CAPÍTULO 1

CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE TERMODINÁMICA, TRANSFERENCIA DE CALOR Y PSICROMETRÍA DEL AIRE

El capítulo descrito a continuación muestra los conceptos básicos sobre termodinámica, transferencia de calor y psicrometría del aire; conceptos necesarios para realizar el diseño y realizar los cálculos de las cargas que intervienen tanto en un invernadero a escala real y un invernadero a escala para laboratorio.

1.1 TERMODINÁMICA

“La termodinámica es la ciencia que trata de la transformación de la energía y de las propiedades de las sustancias involucradas.

La termodinámica interviene prácticamente en todos los campos de la ingeniería. En motores de combustión interna es de suma importancia: mediante un análisis termodinámico se puede calcular, para una potencia dada, la cantidad de aire y combustible necesarios, la cantidad y composición de los productos de combustión, los requisitos de enfriamiento, con base en las cuales posteriormente se calcula el sistema de refrigeración por aire y agua, etc.

La lista de ejemplos es prácticamente interminable, y sólo se ha mencionado una con el objeto de hacer resaltar la importancia de todos los estudios termodinámicos.

La termodinámica se relaciona de manera directa con otras disciplinas de transporte como son las transferencias de calor y la mecánica de fluidos: mediante un análisis termodinámico se pueden producir los requisitos de calor en un intercambiador de calor sin embargo esta disciplina no reporta información con respecto al tamaño del intercambio mismo. Esta información la suministra la transferencia de calor y la mecánica de fluidos. De manera análoga, la termodinámica las velocidades de

reacción como toda disciplina es necesario establecer de antemano la reglas del juego con el objeto de sentar los cimientos en que van a descansar los estudios sucesivos.”¹

1.1.1 CALOR Y TEMPERATURA

“La temperatura es una propiedad de la materia. Es una medida del nivel de la presión térmica de un cuerpo. Una temperatura alta indica un alto nivel de presión térmica y se dice que el cuerpo está caliente. Así mismo, una temperatura baja indica un nivel bajo de la presión térmica y se dice que el cuerpo esta frio. Se ha demostrado que la temperatura es una función de la energía cinética interna y como tal, es un índice de la velocidad molecular promedio.”²

1.1.2 ESCALAS DE TEMPERATURA

Las escalas de temperatura mostradas en la figura 1.1 muestran una interrelación de las magnitudes de temperatura entre los grados Celsius, Farenheit, Kelvin y Ranquine, para el punto de ebullición del agua, punto de congelación del agua y el cero absoluto.

	°C	°F	K	R
Punto ebullición de agua	100	212	373.15	672
Punto congelación de agua	0	32	278.15	492
Cero absoluto	-273.15	-460	0	0

Figura 1.1 Escala de temperaturas

¹ MANRIQUE, José, *Termodinámica*, Tercera Edición, Alfaomega Grupo Editorial, S.A. de C.V, México, 1995, Pg. 9 – 10.

² DOSSAT, Roy, *Principios de Refrigeración*, Decimoquinta Edición, Compañía Editorial Continental, México, 1980, Pg. 29.

La ecuación 1.1 muestra la transformación de magnitud de grados Celsius a grados Kelvin.

La ecuación 1.2 muestra la transformación de magnitud de grados Fahrenheit a grados Rankine.

La ecuación 1.3 muestra la transformación de magnitud de grados Celsius a grados Fahrenheit.

$$K = ^\circ C + 273 \quad (1.1)$$

$$^\circ R = ^\circ F + 460 \quad (1.2)$$

$$^\circ F = 1.8^\circ C + 32 \quad (1.3)$$

1.2 LEY CERO DE LA TERMODINÁMICA

“Imagine dos cuerpos, uno caliente y otro frío: ambos se ponen en contacto. Si además se aíslan del entorno, el cuerpo caliente se enfría, mientras que el frío se calienta. De esta manera las propiedades permanecen invariables con el tiempo al alcanzarse el equilibrio térmico.

Por otro lado, si un tercer cuerpo se pone en contacto térmico con cualesquiera de ellos, y todas sus propiedades permanecen sin cambio se dice que los tres cuerpos están en equilibrio térmico entre sí. Esta observación experimental constituye un axioma termodinámico conocido como *Ley cero de la termodinámica* que se enuncia así:

Si los cuerpos están en equilibrio térmico con un tercero los tres están en equilibrio térmico entre sí.

Es precisamente este axioma el que predice la existencia de una propiedad cuyo valor es el mismo para todos los sistemas que se hallan en equilibrio térmico.”³

³ MANRIQUE, José, *Termodinámica*, Tercera Edición, Alfaomega Grupo Editorial, S.A. de C.V., México, 1995, Pg. 16 – 17.

1.3 PRIMERA LEY DE LA TERMODINÁMICA

“También conocida como principio de conservación de la energía para la termodinámica, establece que si se realiza trabajo sobre un sistema o bien éste intercambia calor con otro, la energía interna del sistema cambiará. Visto de otra forma, esta ley permite definir el calor como la energía necesaria que debe intercambiar el sistema para compensar las diferencias entre trabajo y energía interna. Fue propuesta por Nicolas Léonard Sadi Carnot en 1824, en su obra *Reflexiones sobre la potencia motriz del fuego y sobre las máquinas adecuadas para desarrollar esta potencia*, en la que expuso los dos primeros principios de la termodinámica. Esta obra fue incomprensida por los científicos de su época, y más tarde fue utilizada por Rudolf Clausius y Lord Kelvin para formular, de una manera matemática, las bases de la termodinámica.”⁴

La ecuación general de la conservación de la energía está definida en la ecuación 1.4 mostrada a continuación:

$$E_{\text{entra}} - E_{\text{sale}} = \Delta E_{\text{sistema}} \quad (1.4)$$

Donde:

- E_{entra} : Energía que entra al sistema
- E_{sale} : Energía que sale al sistema
- $\Delta E_{\text{sistema}}$: Diferencia de energías que interactúan con el sistema

Que aplicada a la termodinámica teniendo en cuenta el criterio de signos termodinámico, queda definida en la ecuación 1.5 mostrada a continuación:

$$U = Q + W \quad (1.5)$$

Donde:

- U : Energía interna
- Q : Calor
- W : Trabajo

⁴ MANRIQUE, José, *Termodinámica*, Tercera Edición, Alfaomega Grupo Editorial, S.A. de C.V., México, 1995, Pg. 25.

1.4 SEGUNDA LEY DE LA TERMODINÁMICA

“La segunda ley de la termodinámica es un axioma que indica que todo proceso es degenerativo esto es, que si el resultado del proceso es una degradación de la energía en cuanto a su capacidad de hacer trabajo, el proceso ocurrirá.

Así por ejemplo el trabajo puede convertirse fácilmente en calor pero la experiencia indica que este último no puede convertirse total y de forma continua en trabajo. Es decir, el trabajo es una forma de energía más valiosa que el calor.

La segunda ley de la termodinámica puede establecer de diferentes formas y aunque todas son equivalentes en sus consecuencias solo se enunciarán las más conocidas Axioma de Clausius.

Es imposible que el calor pase, por si solo desde una región de menor temperatura hasta otra de mayor temperatura.”⁵

Debido a esta ley también se tiene que el flujo espontáneo de calor siempre es unidireccional, desde los cuerpos a temperatura más alta a aquellos de temperatura más baja.

1.5 SISTEMAS TERMODINÁMICOS

“Un sistema termodinámico es una porción de espacio o cantidad de materia que se selecciona para propósitos de análisis.

Todo lo ajeno al sistema se le conoce como alrededores y el límite real o hipotético entre el sistema y los alrededores se denomina fronteras o límites del sistema.”⁶ En la figura 1.2 aparece el esquema de sistema.

⁵ MANRIQUE, José, *Termodinámica*, Tercera Edición, Alfaomega Grupo Editorial, S.A. de C.V., México, 1995, Pg. 148.

⁶ MANRIQUE, José, *Termodinámica*, Tercera Edición, Alfaomega Grupo Editorial, S.A. de C.V., México, 1995, Pg. 10.



Figura 1.2 Sistema

1.5.1 SISTEMA CERRADO

“Se dice que un sistema es cerrado si no transferencia de masa entre él y sus alrededores, en la figura 1.3 aparece el esquema de un sistema cerrado.”⁷

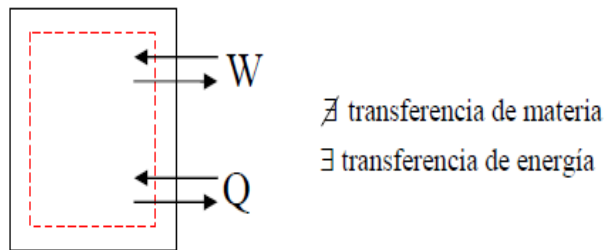


Figura 1.3 Sistema cerrado

1.5.2 SISTEMA ABIERTO

“En un sistema abierto hay realmente transferencia de masa entre el sistema y sus alrededores, como pueden verse en la figura 1.4. Puede ser que un sistema sea igual al flujo de la masa que sale de él: sin embargo, el sistema es abierto, pues no existen transferencias de masa en algunas proporciones de sus límites o fronteras.”⁸

⁷ MANRIQUE, José, *Termodinámica*, Tercera Edición, Alfaomega Grupo Editorial, S.A. de C.V., México, 1995, Pg. 10.

⁸ MANRIQUE, José, *Termodinámica*, Tercera Edición, Alfaomega Grupo Editorial, S.A. de C.V., México, 1995, Pg. 10.

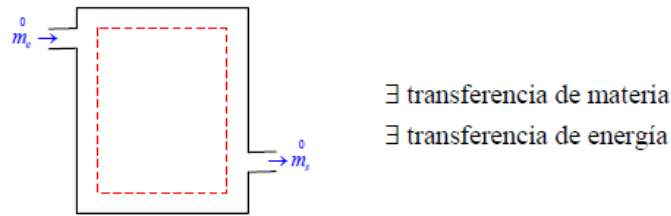


Figura 1.4 Sistema abierto

1.6 ECUACIONES DE LA ENERGÍA

“El tema que hemos estado abordando, que es la termodinámica, es la rama de la física que se ocupa del calor y del trabajo. La primera ley de la termodinámica es un principio que se puede enunciar de varias formas; por ejemplo: la energía no se puede crear ni destruir, o bien en la naturaleza se conserva la energía. Este principio se usa mucho en la calefacción, ventilación y acondicionamiento de aire, en especial cuando se enuncia como un equilibrio en la energía:

El cambio en la energía total de un sistema es igual a la energía agregada al sistema menos la energía eliminada del mismo.

La palabra sistema se refiere a cualquier cuerpo o grupo de cuerpos encerrados en un recinto para el cual se puede determinar el flujo de energía que entra o que sale. También podría designar el aire de un recinto, una caldera, un edificio entero o en un sistema completo de acondicionamiento de aire.

Este balanceo de energía se expresa en general en forma de una ecuación mostrada en la ecuación 1.6, a la que se le llama la ecuación de energía:

$$E_v = E_e - E_s \quad (1.6)$$

Donde:

- E_v : Variación en la energía almacenada en el sistema
- E_e : Energía que se agrega o entra al sistema
- E_s : Energía que se elimina a sale del sistema

1.6.1 ECUACIONES DE CALOR SENSIBLE Y LATENTE

Los procesos que se llevan a cabo en los sistemas de calefacción, ventilación y acondicionamiento de aire implican en general la adición a eliminación de calor del agua o aire. En esta sección se explican los procedimientos para calcular la cantidad de calor.

1.6.2 ECUACION PARA CALOR SENSIBLE

Se puede aplicar la ecuación de energía (Ec. 1.6) a cualquier sustancia para determinar la relación entre la cantidad de calor agregado o eliminado y la variación de contenido de calor sensible o entalpía de la sustancia: calor neto agregado o eliminado = cambio de entalpía.

A las ecuaciones 1.7 y 1.8 mostradas a continuación se les llaman ecuaciones del calor sensible. El calor específico varía ligeramente con la temperatura, de modo que la ecuación no es exacta; sin embargo su exactitud es aceptable excepto cuando los cambios de temperatura son muy grandes.

$$Q = m \times c \times TC \quad (1.7)$$

$$Q = m \times c (t_2 - t_1) \quad (1.8)$$

Donde:

- Q : Velocidad de adición o eliminación de calor a la sustancia, KJ/s
- m : Velocidad de flujo de masa de la sustancia, Kg/s
- c : Calor específico de la sustancia, KJ/Kg - °K
- $TC : t_2 - t_1$ = Variación de temperatura de la sustancia °K.

1.6.3 ECUACION DEL CALOR LATENTE

El cambio de entalpía que se lleva a cabo cuando se evapora o se condensa una sustancia se calcula empleando la ecuación 1.9 del calor latente mostrada a continuación, que se deduce al aplicar la ecuación de la energía al cambio de estado:

$$Q = m (h_g - h_f) = m \times h_{fg} \quad (1.9)$$

Donde:

- Q : Calor agregado o eliminado de la sustancia, KJ/h
- m : Velocidad de flujo de masa de la sustancia, Kg/s
- h_f : Entalpía del líquido saturado, KJ/Kg
- h_g : Entalpía del vapor saturado, KJ/Kg
- h_{fg} : Calor latente de evaporación, KJ/Kg

Cuando un proceso de calentamiento o enfriamiento implica cambio tanto de calor sensible como de calor latente en la sustancia, se pueden encontrar los resultados sencillamente sumando los dos efectos.”⁹

1.7 INTRODUCCIÓN A LA TRANSFERENCIA DE CALOR

“Siempre que existe una diferencia de temperatura en el universo, la energía se transfiere de la región de mayor temperatura a la de menor temperatura. De acuerdo con los conceptos de la termodinámica, esta energía transmitida se denomina calor.

Las leyes de la termodinámica tratan de la transferencia de energía, pero siempre se refieren a sistemas que están en equilibrio, y solo pueden utilizarse para predecir la cantidad de energía requerida para cambiar un sistema de un estado de equilibrio a otro, por lo que no sirven para predecir la rapidez con que puedan producirse estos cambios.

La ciencia llamada transmisión o transferencia de calor complementa los principios primero y segundo de la termodinámica clásica, proporcionando los métodos de

⁹ PITA, Edward., *Acondicionamiento del Aire*, Segunda Edición, Compañía Editorial Continental, 1998, Pg. 38 – 39.

análisis que pueden utilizarse para predecir la velocidad de la transmisión del calor, además de los parámetros variables durante el proceso en función del tiempo.

Para un análisis completo de la transferencia del calor es necesario considerar mecanismos fundamentales de transmisión: conducción, convección y radiación, además del mecanismo de acumulación. El análisis de los sistemas y modelos de intercambio de calor requieren familiaridad con cada uno de estos mecanismos y sus fundamentos, así como de sus interacciones. ”¹⁰

1.7.1 TIPOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Existen tres métodos para la transferencia de calor: conducción, convección y radiación. Conocer cada tipo y saber cómo funciona le permite entender mejor cómo los sistemas de aislamiento y burletes protegen el espacio acondicionado.

1.7.1.1 CONDUCCIÓN

“La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hasta las adyacentes menos energéticas, como resultado de las interacciones entre esas partículas. La conducción puede tener lugar en los sólidos, líquidos o gases. En los gases y líquidos la conducción se debe a las colisiones y a la difusión de las moléculas durante su movimiento aleatorio. En los sólidos se debe a la combinación de las vibraciones de las moléculas en una retícula y al transporte de energía por parte de los electrones libres.

La velocidad de la conducción de calor a través de un medio depende de la configuración geométrica de éste, su espesor y material del que este hecho, así como la temperatura a través de él.”¹¹

1.7.1.2 CONVECCIÓN

“La convección es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacente que están en movimiento y comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento de fluidos.

¹⁰ CENGEL, Yunus, *Transferencia de Calor*, Segunda Edición, McGraw – Hill Interamericana, México, 2003, Pg. 17.

¹¹ CENGEL, Yunus, *Transferencia de Calor*, Segunda Edición, McGraw – Hill Interamericana, México, 2003, Pg. 17, 18.

Entre más rápido es el movimiento de un fluido, mayor es la transferencia de calor por convección. En ausencia de cualquier movimiento masivo de fluido, la transferencia de calor entre una superficie sólida y el flujo adyacente es por conducción pura. La presencia de movimiento masivo de fluido acrecienta la transferencia de calor entre la superficie sólida y el fluido, pero también complica la determinación de las velocidades de esa transferencia.”¹²

1.7.1.3 RADIACIÓN

“La radiación es la energía emitida por la materia en la forma de ondas electromagnéticas (o fotones), como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. A diferencia de la conducción y la convección, la transferencia de energía por radiación no requiere la presencia de un medio interpuesto. De hecho la transferencia de energía por radiación es la más rápida (a la velocidad de la luz) y no sufre atenuación en el vacío. De esta manera llega a la tierra la energía del sol.

En los estudios de transferencia de calor es de interés la radiación térmica, que es la forma de radiación emitida por los cuerpos debido a su temperatura. Es diferente de otras formas de radiación, como los rayos x, los rayos gama, las microondas, las ondas de radio y de televisión, que no están relacionadas con la temperatura. Todos los cuerpos a una temperatura arriba del cero absoluto emiten radiación térmica.”¹³

1.8 PSICROMETRÍA DEL AIRE

“Las mezclas homogéneas de gases inertes son sustancias puras y, como tales, sus propiedades termodinámicas pueden analizarse con las técnicas previamente presentadas. Conviene establecer las propiedades termodinámicas de una mezcla de gases no reactivos a partir de las propiedades de las diferentes constituyentes de la mezcla.

¹² CENGEL, Yunus, *Transferencia de Calor*, Segunda Edición, McGraw – Hill Interamericana, México, 2003, Pg. 25.

¹³ CENGEL, Yunus, *Transferencia de Calor*, Segunda Edición, McGraw – Hill Interamericana, México, 2003, Pg. 27.

El aire seco, compuesto básicamente por nitrógeno y oxígeno, constituye una mezcla de las más comunes. Por otro lado, el estudio de mezclas aire-vapor de agua es de fundamental importancia en procesos de aire acondicionado.”¹⁴

1.8.1 COMPOSICIÓN DE AIRE

“El aire seco (aire sin vapor de agua) está compuesto en esencia de nitrógeno (en volumen es próximo al 78%) y oxígeno (casi 21%), el resto 1% está formado por dióxido de carbono y cantidades pequeñas de otros gases, tales como hidrógeno, helio, neón y argón.

La cantidad de vapor de agua en el aire varía bastante de lugar a lugar y de acuerdo a las condiciones atmosféricas locales, y por lo normal es de 1% a 3% de la masa de la mezcla. Ya que el contenido de vapor de agua en el aire se debe principalmente a la evaporación de agua a través de las superficies expuestas de los depósitos de agua, la humedad atmosférica (Contenido de vapor de agua) será mayor en aquellos lugares donde se tenga grandes extensiones de agua y, menor en regiones áridas.

Debido a que todo aire en estado natural contiene una cierta cantidad de vapor de agua, no se pretende decir que realmente exista el “aire seco”. Sin embargo, el concepto “aire seco” es muy útil y simplifica en gran parte los cálculos psicométricos.

1.8.1.1 LEY DE DALTON

Es la ley de la presión parcial y establece que, en cualquier mezcla mecánica de gases y vapores (aquellas que no se combinan químicamente) se tiene:

1. Cada gas o vapor en la mezcla ejerce una presión parcial individual que es igual a la presión que el gas ejercería si este solo ocupase todo el espacio (Presión parcial ejercida por los gases secos).
2. La presión total de la mezcla gaseosa es igual a la suma de las presiones parciales ejercidas por cada uno de los gases o vapores en particular (Presión parcial ejercida por el vapor de agua).

¹⁴ MANRIQUE, José, *Termodinámica*, Tercera Edición, Alfaomega Grupo Editorial, S.A. de C.V, México, 1995, Pg. 401.

1.8.2 TEMPERATURA DEL PUNTO DE ROCÍO

Es de importancia reconocer que el vapor de agua contenido en el aire es en realidad vapor sujeto a una presión baja y que este vapor de presión baja, al igual que un vapor a presión alta, podría estar en la condición de saturado cuando su temperatura sea la temperatura correspondiente a su presión.

Se deduce, que cuando el aire se encuentra a una temperatura superior a la temperatura de saturación correspondiente a la presión parcial ejercida por el vapor de agua, el vapor de agua contenido en el aire, estará en la condición de sobre calentado.

Por otra parte la temperatura de aire es igual a la temperatura de saturación correspondiente a la presión parcial del vapor de agua, el vapor de agua del aire está saturado y el aire se dice que esta saturando a lo cual se le conoce como temperatura de punto de rocío (PR del aire).

Al aumentar la cantidad de vapor de agua contenida en el aire, se aumentara también la presión ejercida por el vapor de agua, aumentando también la temperatura de PR. Así mismo al disminuir la cantidad de vapor de agua contenida en el aire, se disminuirá la presión ejercida por el vapor de agua y descenderá la temperatura de PR.

1.8.3 MÁXIMO CONTENIDO DE VAPOR DE AGUA

Debido que la presión máxima que puede ser ejercida por cualquier vapor es la presión de saturación correspondiente a su temperatura, el aire contendrá la cantidad máxima de vapor de agua (se tendrá la densidad de vapor máxima) cuando la presión ejercida por el vapor de agua es igual a la presión de saturación correspondiente a la temperatura del aire.

Para esta condición, la temperatura de PR es igual y se dice que el aire está saturado.

1.8.4 HUMEDAD ABSOLUTA

La humedad absoluta, es la masa de vapor de agua por unidad de volumen de aire a dicha condición, como tal, esto es propiamente la expresión de la densidad de vapor. La humedad absoluta o densidad del vapor, por lo general se expresa por libras por pie cubico, y queda definida en las ecuaciones 1.10 y 1.11 mostradas a continuación:

$$\rho = m = \frac{pV}{RT} \quad (1.10)$$

Donde:

- ρ : Humedad Relativa
- m : mezcla de aire
- p : Presión de vapor
- V : Volumen de vapor de agua
- R : Constante para un vapor de agua de baja presión
- T : Temperatura del PR en grados Rankine

Ó,

$$\frac{1}{\text{Volumen específico del vapor de agua saturado}} \quad (1.11)$$

Donde:

- Volumen específico del vapor de agua saturado

1.8.5 HUMEDAD RELATIVA

La humedad relativa (HR) expresada en porcentajes, es la relación entre la presión parcial real ejercida por el vapor de agua en cualquier volumen de aire y la presión parcial que ejercería el vapor de agua si el vapor de agua contenido en el aire

estuviera saturado a la temperatura del aire, y queda definida en la ecuación 1.12 mostrada a continuación:

$$HR = \frac{\text{Presión parcial real}}{\text{Presión parcial de saturación}} \times 100 \quad (1.12)$$

1.8.6 RELACIÓN DE HUMEDAD

La relación de humedad (w), llamada algunas veces humedad específica, por lo general se le expresa en granos por libra de aire seco (gr/lb) o libra por libra de aire seco (lb/lb).

Para cualquier presión barométrica dada, la relación de humedad es sólo función de la temperatura de PR.

De acuerdo con las leyes del gas ideal, el volumen por unidad de masa de aire aumentará si disminuye la presión barométrica total, y queda definida en la ecuación 1.13 mostrada a continuación:

$$w = \frac{0.622 P_w}{P - P_w} \quad (1.13)$$

Donde:

- w : Relación de humedad en libras de vapor de agua por libra de aire seco
- P_w : Presión parcial de vapor de agua correspondiente a la temperatura de PR, en libras por pulgada cuadrada absoluta
- P : Presión barométrica en libras por pulgada cuadrada absoluta

1.8.7 RELACIÓN DE SATURACIÓN

La relación de saturación, llamada algunas veces porcentaje de humedad, es la relación de la masa de vapor de agua en el aire por masa unitaria de aire seco a la masa de vapor de agua necesaria para la saturación de la misma muestra de aire.

La relación de saturación, al igual que la humedad relativa, está expresada en porcentajes, y queda definida en la ecuación 1.14 mostrada a continuación:

$$\text{Relación de saturación} = \frac{w}{w_s} \times 100 \quad (1.14)$$

Donde:

- w : Relación de humedad real en libras por libra de aire seco
- w_s : Relación de humedad a condición de saturación a la misma temperatura del aire en libras por libra de aire seco

1.8.8 TEMPERATURAS DE BULBO SECO Y BULBO HÚMEDO

La temperatura del bulbo seco del aire (BS) es la temperatura medida por un termómetro ordinario de BS, el bulbo del termómetro se deberá cubrir para reducir los efectos de la radiación directa.

La temperatura del bulbo húmedo del aire (BH) es la temperatura medida por un termómetro ordinario de BH, mostrado en la figura 1.5, el bulbo del termómetro será cubierto con un pabito humedecido.



Figura 1.5 Psicrómetro

1.8.9 CONTENIDO DE CALOR O ENTALPIA DEL AIRE

El aire tiene calor sensible y calor latente. El calor total del aire a cualquier condición es la suma del calor sensible y calor latente contenidos en el mismo y se tiene que:

1. El calor sensible del aire es una función de la temperatura del Bulbo Seco.
2. El calor latente del aire es una función de la temperatura del Punto de Rocío.
3. El calor total del aire es una función de la temperatura del Bulbo Húmedo.

1.8.9.1 CALOR SENSIBLE DEL AIRE

Para cualquier temperatura dada del BS, el calor sensible del aire, es considerado como la entalpía del aire seco a dicha temperatura restada de 0°F.

Para este cálculo en particular, el término $(T_2 - T_1)$ será numéricamente igual a la temperatura del BS del aire y, suponiendo que el calor específico medio del aire, a presión constante será igual a 0.24 Btu/lb°F se tiene la ecuación 1.15:

$$h_s = \frac{0.24}{BS} \quad (1.15)$$

Donde:

- h_s = Entalpía específica del aire seco (calor sensible por libra de aire seco) en BTU por libra

Para calcular el calor sensible total en m libras de aire (entalpía del aire seco), se tiene las ecuaciones 1.16 y 1.17:

$$H_s = (m) (0.24) (BS) \quad (1.16)$$

$$H_s = (m) (h_s) \quad (1.17)$$

La cantidad de calor sensible transferido cuando cualquier masa dada de aire es calentada o enfriada en cualquier temperatura de BS inicial y final es también una función de calor sensible. Suponer que el calor específico a presión constante, C_p , para el aire es 0.24 Btu/lb°F, y queda definida en la ecuación 1.18 mostrada a continuación:

$$Q_s = (m) (0.24) (\Delta BS) \quad (1.18)$$

Donde:

- Q_s : Calor sensible transferido en BTU
- m : Masa de aire seco en libras
- ΔBS : Diferencia de temperaturas BS inicial y final en grados Fahrenheit

El calor sensible transferido cuando m libras de aire son calentadas o enfriadas entre dos temperaturas de BS cualquiera puede también obtenerse multiplicando la masa del aire por la diferencia de entalpías especificadas del aire seco correspondientes a las condiciones inicial y final, y queda definida en la ecuación 1.19 mostrada a continuación:

$$Q_s = (m) (\Delta h_s) \quad (1.19)$$

1.8.9.2 CALOR LATENTE DEL AIRE

Para todos los fines prácticos, el único calor latente contenido en el aire, es el calor latente del agua contenido en el mismo. Por lo tanto, la cantidad del calor latente en una cantidad dada de aire dependerá de la masa del vapor de agua contenida en el aire y del calor latente de vaporización del agua correspondiente a la temperatura de saturación de agua.

Puesto que la temperatura de saturación del vapor de agua es también la temperatura del PR del aire, se deduce de la temperatura del PR determina no solo la masa del vapor de agua en el aire sino además el calor latente de vaporización.

Como una medida práctica es conveniente suponer que el calor sensible del aire es la entalpía del aire seco y que el calor latente del aire es la entalpía del vapor del agua, la suma de los dos calores es el calor total o entalpía del aire, y queda definida en la ecuación 1.20 mostrada a continuación:

$$h_L = (m) (w \times h_w) \quad (1.20)$$

Donde:

- h_L : Calor latente de cualquier masa dada de aire seco con una relación de humedad w en BTU
- m : Masa del aire seco en libras
- w : Relación de humedad en libras por libra
- h_w : Entalpia especificada del vapor de agua del aire, por lo general se considera como la entalpia de vapor de agua saturado (h_g) a una temperatura igual a la temperatura del PR del aire en BTU por libra

Para una libra de aire, se tiene la ecuación 1.21 mostrada a continuación:

$$h_L = (w) (h_w) \quad (1.21)$$

Donde:

- h_L = Calor latente por libra de aire seco teniendo relación de humedad igual a w , en BTU por libra

Es importante notar que en cualquier mezcla de aire seco y vapor de agua la masa del aire (m) es tomada como la masa del aire seco, de modo que para m libras de aire la masa verdadera de aire (mezcla de aire seco-vapor de agua) es m libras de aire seco mas la masa de vapor de agua en la mezcla.

Es de notarse que todos los cálculos tienen algunas inexactitudes inherentes:

1. La entalpia del vapor de agua (h_g) no es todo calor latente; es la suma del calor sensible y calor latente de vaporización.
2. La masa de aire es la suma de la masa de aire seco mas la masa del vapor de agua mezclada con el aire seco.
3. La entalpia del vapor de agua (h_g) es la entalpia de saturación y no incluye el calor sensible del vapor (sobrecalentamiento)

Con respecto al tercer punto, el vapor de agua en el aire esta siempre a la misma temperatura a que está los componentes secos (a la temperatura del BS). Por esta razón, excepto para el caso de aire saturado cuando las temperaturas de BS y BH son iguales, el vapor de agua del aire, esta sobrecalentado, y quedan definidas en la ecuaciones 1.22 y 1.23 mostradas a continuación:

$$h_w = h_g + (0.45)(BS - PR) \quad (1.22)$$

$$h_w = 1060.8 + (0.45)(BS) \quad (1.23)$$

La cantidad de calor latente (Q_L) transferido a, o cedido para una masa de aire conocida de acuerdo al vapor de agua agregado o eliminado, respectivamente, puede calcularse multiplicando la masa del aire (seco) por la diferencia de calor latente por libra de aire de acuerdo a las condiciones inicial y final, y quedan definidas en la ecuaciones 1.24 y 1.25 mostradas a continuación:

$$Q_L = (m) (h_{L2} - h_{L1}) \quad (1.24)$$

O, ya que:

$$h_{L1} = (w_1) (h_{w1}) \quad \text{y} \quad h_{L2} = (w_2) (h_{w2})$$

$$Q_L = (m) [(w_2 \times h_{w2}) - (w_1 \times h_{w1})] \quad (1.25)$$

1.8.9.3 CALOR TOTAL DE AIRE

El calor total (entalpia) del aire es la suma del calor sensible del aire (la entalpia del aire seco) y el calor latente del aire (la entalpia del vapor de agua) de para 1 lb de aire, y queda definida en la ecuación 1.26 mostrada a continuación:

$$h_t = h_s + h_L \quad (1.26)$$

Donde:

- h_t : entalpia del aire (húmedo) en Btu por libra
- h_s : entalpia del aire seco en Btu por libra
- h_L : entalpia del vapor de agua en Btu por libra del aire seco

Para m libras del aire:

$$H_t = (m) (h_t)$$

Donde:

- H_t : Es la entalpia de m libras de aire

El calor total transferido (Q_t) a, o del aire cuando es calentado o enfriado, respectivamente, puede obtenerse de la ecuación 1.27:

$$Q_t = (m) (h_{t2} - h_{t1}) \quad (1.27)$$

Donde los subíndices 1 y 2 indican las condiciones inicial y final del aire en este orden. Cuando la entalpia en la condición 1 es mayor que en la condición dos, el resultado obtenido será negativo indicando con ello que el calor es cedido por el aire, en lugar de dársele al aire. En la práctica por lo general se omite el signo negativo.

Una notable excepción es cuando cambia el calor latente y el calor sensible del aire en cantidades iguales pero de signo opuesto, en cuyo caso la entalpia del aire permanece constante durante el proceso.

Procesos adiabáticos tales como este, son comunes y se refieren en su generalidad tanto a humidificación adiabática como a enfriamiento evaporativo dependiendo del proceso.

1.8.10 TEMPERATURA BULBO HUMEDO (BH) COMO ÍNDICE DEL CALOR TOTAL

Debido que para una combinación cualquiera de temperatura de BS y PR, la temperatura del BH del aire puede tener solo un valor, se deduce que la temperatura del BH es un índice del calor total del aire (entalpia).

Aun cuando solo un valor de temperatura BH satisface una combinación dada de temperaturas BS y PR, existen muchas combinaciones de temperaturas de BS y PR que tienen la misma temperatura de BH. Esto en efecto que diferentes muestras de aire teniendo la misma temperatura de BH tiene la misma entalpia, aun cuando la relación de calor latente y sensible pueda ser distinta para las diferentes muestras.

La diferencia es conocida como desviación de entalpia. La disminución entálpica disminuye a medida que la muestra de aire se aproxima a la condición de saturación sensible pueda ser distinto para las diferentes muestras.

En realidad, la entalpia de una muestra dada de aire es una función directa de la temperatura de BH solo cuando la muestra de aire saturada.

1.8.11 AIRE ESTÁNDAR

En la práctica, resulta de mayor interés considerar la razón de flujo de energía que la cantidad de energía, por esta razón, se incluye al elemento tiempo en las ecuaciones básicas de masa-energía.

También en la práctica es conveniente expresar las cantidades de aire como volumen en lugar de masa.

Se define al aire estándar como aire que tiene una densidad de 0.075 lb/pie^3 o un volumen específico de $(1/0.075) 13.34 \text{ pies}^3/\text{lb}$. Se satisface sustancialmente esta condición aire a presión barométrica estándar y temperatura de 70° F .

Podrá sustituirse el valor de la masa m en cualquiera de las ecuaciones masa energía, la cantidad que resulta al multiplicar un volumen de aire estándar por la densidad del aire estándar (0.075lb/pie^3).

Aplicando las siguientes ecuaciones, podrá convertirse cualquier volumen de aire a cualquier condición en volumen equivalente al aire estándar, y quedan definidas en la ecuaciones 1.28 y 1.29 mostradas a continuación:

$$V_s = V_a \frac{v_s}{v_a} \quad (1.28)$$

$$V_s = V_a \frac{T_s}{T_a} \quad (1.29)$$

Donde:

- V_s : Volumen de aire estándar
- V_a : Volumen de aire actual
- v_s : Volumen específico del aire estándar ($13.34 \text{ pies}^3/\text{lb}$)
- v_a : Volumen específico del aire actual
- T_s : Temperatura del aire estándar (430° R)
- T_a : Temperatura del aire actual en grados Rankine.

1.8.12 CARTAS PSICROMÉTRICAS

Las cartas psicrométricas son graficas que representan las propiedades psicrométricas del aire. El uso de tales graficas permite el análisis de datos psicrométricas y procesos facilitándose la solución de muchos problemas prácticos relacionados con aire que de otra manera requeriría de soluciones matemáticas tediosas, como se muestran en las figuras 1.6 y 1.7.

Los valores dados en la carta son para aire a presión barométrica estándar debidamente hacerse correcciones para otras elevaciones.

Obsérvese que las líneas verticales sobre la carta son líneas de temperatura BS constante, mientras que las líneas horizontales son líneas de temperatura PR constante y relaciones de humedad. Las líneas diagonales colocadas muy próximas entre sí, son líneas de temperatura de BH constante y las líneas también inclinadas pero a mayor separación son líneas de volumen específico constante.

Las líneas curvas que se extienden del extremo inferior izquierdo hasta el extremo superior derecho de la carta, son líneas de HR constante. La línea curva que limita a la carta sobre el lado izquierdo, es la línea de HR 100% y se le conoce como la curva de saturación. El aire a cualquier condición tal que su estado pueda designarse con un punto sobre la curva de saturación, es aire saturado, las demás líneas curvas sobre la carta, son líneas de desviación de entalpia.

La desviación de entalpia es la diferencia que se tiene entre la entalpia específica real del aire a una condición dada cualquiera y la entalpia específica del aire saturado a la misma temperatura de BH.

Siguiendo la línea de alguna temperatura de BH dada, podrá leerse en la escala colocada arriba de la curva de saturación el valor de la entalpia específica del aire saturado. Las desviaciones de entalpia se obtienen haciendo interpolaciones entre las líneas de desviación de entalpia. La entalpia real o verdadera del aire a cualquier condición se obtiene sumando (algebraicamente) la desviación de entalpia a la entalpia de saturación.”¹⁵

¹⁵ DOSSAT, Roy, *Principios de Refrigeración*, Decimoquinta Edición, Compañía Editorial Continental, México, 1980, Pg. 79 - 92.

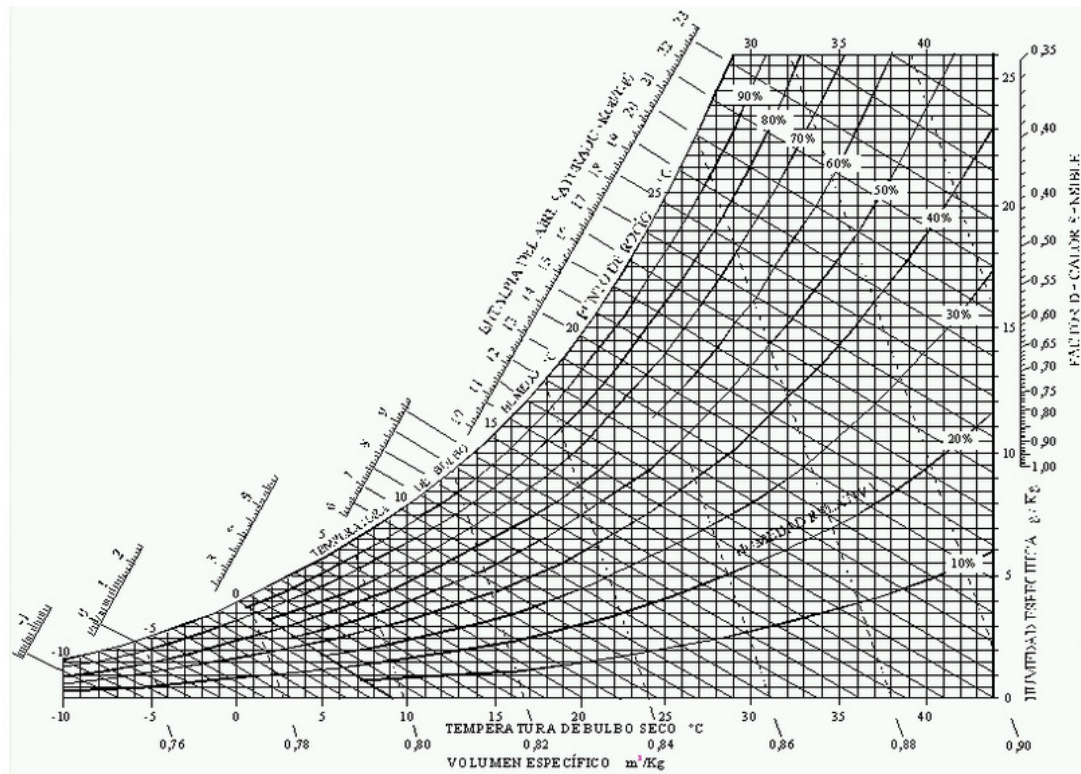


Figura 1.6 Diagrama psicrométrico

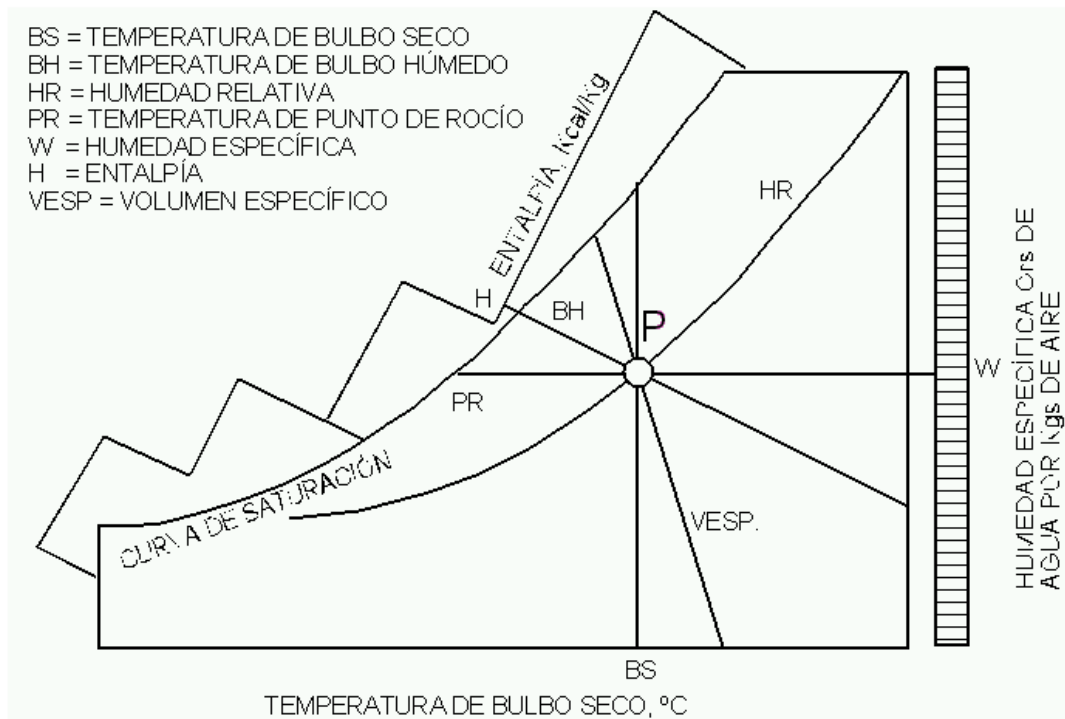


Figura 1.7 Diagrama psicrométrico conceptual

CAPÍTULO 2

DISEÑO DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN

El capítulo descrito a continuación muestra los cálculos de flujo de calor (cargas termodinámicas), y psicrometría del aire que afectan tanto a un invernadero a escala real como un invernadero a escala para laboratorio; tomando en cuenta datos reales de los anuarios meteorológicos proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) desde Septiembre del 2008 hasta Julio del 2009.

2.1 CONDICIONES CLIMATICAS DE LA ZONA

Para el presente diseño se investigan una serie de parámetros meteorológicos basándose en consultas realizadas durante las horas más críticas para la temperatura de bulbo húmedo (T_{bh}), temperatura de bulbo seco (T_{bs}), y humedad relativa(ϕ). Se ha recurrido al uso de datos estadísticos sobre las condiciones climáticas existentes en la zona o cercanas a la misma, para tener de esta forma valores reales que aseguren un diseño óptimo.

Los datos meteorológicos de los anuarios han sido proporcionados por el instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI (ANEXO 2.0, a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k) para la localidad de IÑAQUITO

	TEMPERATURA MAXIMA DEL AIRE EN EL DÍA, $T_{db}(T_{bs})$
Septiembre 2008	288.9°K (15.9°C)
Octubre 2008	288.6°K (15.6°C)
Noviembre 2008	289.2°K (16.2°C)
Diciembre 2008	289.3°K (16.3°C)
Enero 2009	289.1°K (16.1°C)
Febrero 2009	288.5°K (15.5°C)

Marzo 2009	289.7°K (16.7°C)
Abril 2009	289.5°K (16.5°C)
Mayo 2009	289.2°K (16.2°C)
Junio 2009	289.2°K (16.2°C)
Julio 2009	289.2°K (16.2°C)

Tabla 2.1 Condiciones climáticas de temperaturas máximas según el INAMHI

	TEMPERATURA MÍNIMA DEL AIRE EN LA NOCHE, $T_{db}(T_{bs})$
Septiembre 2008	279°K (6°C)
Octubre 2008	278.3°K (5.3°C)
Noviembre 2008	278.9°K (5.9°C)
Diciembre 2008	278.6°K (5.6°C)
Enero 2009	280°K (7°C)
Febrero 2009	280.1°K (7.1°C)
Marzo 2009	279.2°K (6.2°C)
Abril 2009	279.5°K (6.5°C)
Mayo 2009	276.3°K (3.3°C)
Junio 2009	280.1°K (7.1°C)
Julio 2009	279.2°K (6.2°C)

Tabla 2.2 Condiciones climáticas de temperaturas mínimas según el INAMHI

	HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO EN EL DÍA $\bar{\phi}$	HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO EN LA NOCHE $\bar{\phi}$
Septiembre 2008	89%	57%
Octubre 2008	91%	73%
Noviembre 2008	97%	76%
Diciembre 2008	92%	71%
Enero 2009	97%	73%

Febrero 2009	96%	79%
Marzo 2009	94%	77%
Abril 2009	95%	74%
Mayo 2009	91%	73%
Junio 2009	91%	73%
Julio 2009	85%	56%

Tabla 2.3 Condiciones climáticas de humedad según el INAMHI

2.2 REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS

Para el presente proyecto se ha requerido condiciones climáticas constantes dentro del invernadero, para, poder obtener una producción media de rosas rojas con un tallo largo con flor pequeña y estas condiciones son: temperatura y humedad.

2.2.1 TEMPERATURA

“Para la mayoría de los cultivadores de rosas, las temperaturas óptimas de crecimiento son de 17°C a 25°C, con una mínima de 15°C durante la noche y una máxima de 28°C durante el día.

Pueden mantenerse valores ligeramente inferiores o superiores durante períodos relativamente cortos sin que se produzcan serios daños, pero una temperatura nocturna continuamente por debajo de 15°C retrasa el crecimiento de la planta, produce flores con gran número de pétalos y deformes, en el caso de que abran. Temperaturas excesivamente elevadas también dañan la producción, apareciendo flores más pequeñas de lo normal, con escasos pétalos y de color más cálido.”¹⁶

Para obtener un tallo largo con flor pequeña se recomienda una temperatura ideal mostrada en la Tabla 2.4.

¹⁶ <http://www.infoagro.com/flores/flores/rosas.htm>

TEMPERATURA BULBO SECO, $T_{db}(T_{bs})$	CANTIDAD
	298 °K (25°C)

Tabla 2.4 Condiciones climáticas internas de temperatura deseada

2.2.2 HUMEDAD

“Se define como humedad ambiental la cantidad de vapor de agua en el aire. Las plantas necesitan una cierta cantidad de humedad para poder realizar la transpiración.

La transpiración es un proceso realizado por las plantas mediante el cual estas expulsan agua a la atmosfera a través de unas aberturas microscópicas de las hojas llamadas estomas

La transpiración vegetal es el motor necesario para que la planta pueda absorber agua y nutrientes desde el suelo. Además, al evaporar agua, la planta se refresca consiguiendo bajar su temperatura.”¹⁷

Para obtener un tallo largo con flor pequeña se recomienda una humedad ideal mostrada en la Tabla 2.5.

HUMEDAD RELATIVA, Ø	CANTIDAD
	65%

Tabla 2.5 Condiciones climáticas internas de humedad deseada

2.3 ESTUDIO DE INVERNADERO

“Un invernadero es un sistema que permite proteger los cultivos, creando un microclima que favorezca el desarrollo de plantas, de ahí que su construcción depende de las necesidades específicas de los cultivos a establecer y de los recursos de los que dispone el agricultor”¹⁸

¹⁷ <http://www.botanical-online.com/florhumedad.htm>

¹⁸ <http://www.infoagro.com/flores/flores/rosas.htm>

El invernadero mostrado en la figura 2.1 consta de una pared norte y una pared sur con ranuras circulares para colocar un ventilador en cada una; una pared este con una ranura rectangular para colocar una puerta deslizante; una pared oeste; techo y piso.

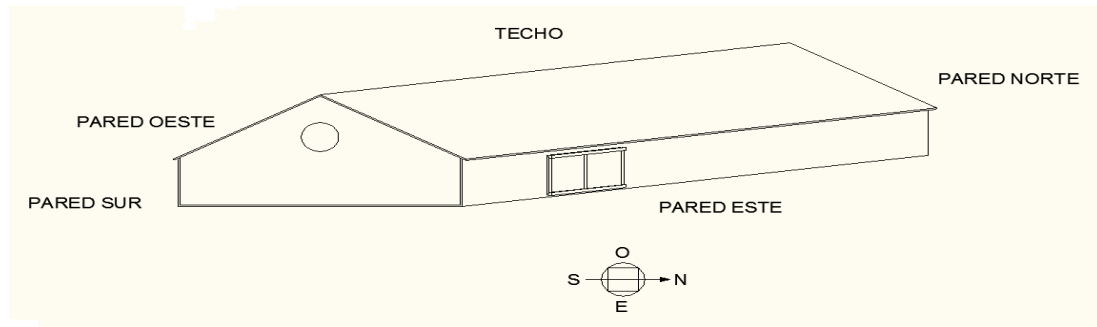


Figura 2.1 Plano del invernadero

2.3.1 CARACTERÍSTICAS DEL INVERNADERO

“El largo de un invernadero puede ser variable, y depende entre otros factores de la eficiencia en el manejo de las temperaturas, de la humedad ambiental, de la ventilación y de la capacidad que se tenga para manejar el riego. El largo recomendado para una explotación a nivel de pequeño agricultor oscila entre 30 y 40 metros. A modo de ejemplo, siempre se recomienda construir 2 invernaderos de 30 metros de largo cada uno y no uno de 60 metros de largo.

En cuanto al ancho, se recomienda aplicar múltiplos de 3.0 o 3.5 metros, lo que permite construir unidades de 3.0 - 6.0 - 9.0 o 12.0 metros, o 3.5 - 7.0 - 10.5 o 14 metros. De todas formas, el ancho estará determinado por las medidas del polietileno que permita una fácil instalación del mismo, la densidad del cultivo a establecer y el sistema de riego a emplear.

Para la mayoría de los cultivos, no se requiere una altura superior a los 3.5 metros, considerando aspectos técnicos referidos a humedad y ventilación. Una altura recomendable puede oscilar entre 3.5 y 2.5 metros en la parte central y de 1.8 a 2.0 metros en los laterales, considerando en las diferencias de éstas medidas una inclinación de las aguas en unos 30°. El ángulo de inclinación tiene importancia a

objeto de evitar el goteo de la humedad condensada en la noche, a la vez que impedir la formación de bolsas de agua al llover. De igual forma, reviste importancia esta inclinación para lograr la captación de rayos solares y lograr una adecuada iluminación interior. Sin duda que los vientos dominantes y su intensidad, al igual que el tipo de cultivo a establecer en cuanto a su hábitat de crecimiento, determinan la altura final de una estructura”¹⁹

2.3.1.1 DIMENSIONES DEL INVERNADERO

Las dimensiones del invernadero a escala real son tomadas de los datos recomendados de la sección anterior y se muestran en la tabla 2.6.

DIMENSIÓN	MILIMETROS, mm	METROS, m
Largo	15000	15
Ancho	9000	9
Altura	4600	4.6

Tabla 2.6 Dimensiones del invernadero

2.3.1.2 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DEL INVERNADERO

Los materiales de construcción del invernadero a escala real se muestran en las tablas 2.7, 2.8, 2.9, 2.10.

PAREDES

ELEMENTO	MATERIAL	ESPEJOR, mm
Pared norte	Vidrio doble hoja	12.7 (½ in)
Pared sur	Vidrio doble hoja	12.7 (½ in)
Pared este	Vidrio doble hoja	12.7 (½ in)
Pared oeste	Vidrio doble hoja	12.7 (½ in)

Tabla 2.7 Material de las paredes

¹⁹ <http://www.infoagro.com/flores/flores/rosas.htm>

TECHO

ELEMENTO	MATERIAL	ESPESOR, mm
Techo	Vidrio doble hoja	12.7 (½ in)

Tabla 2.8 Material del techo

SUELO

ELEMENTO	MATERIAL	ESPESOR, mm
Suelo	Concreto	101.6 (4 in)
	Corcho	101.6 (4 in)
	Concreto mortero	9.52 (3/8 in)

Tabla 2.9 Material del suelo

PUERTA

ELEMENTO	MATERIAL	ESPESOR, mm
Puerta	Vidrio doble hoja	12.7 (½ in)

Tabla 2.10 Material de la puerta

2.3.1.3 POTENCIA Y TIPO DE ALUMBRADO

La potencia, cantidad de lámparas y tipo de lámparas del alumbrado se muestra en la tabla 2.11

POTENCIA	TOTAL DE LAMPARAS	TIPO DE LAMPARAS
60 Watts	70	Fluorescente

Tabla 2.11 Material del alumbrado

2.4 CÁLCULO DE LAS ÁREAS DEL INVERNADERO

Para el cálculo de las áreas del invernadero, se debe tomar en cuenta el área total de cada elemento como son las paredes norte, sur este, oeste además el techo y piso; luego se resta de estas las áreas de las ranuras respectivas.

2.4.1 CALCULO DE LAS ÁREAS NETAS DE LAS PAREDES DEL INVERNADERO

Las figuras 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, muestran las dimensiones reales de las paredes del invernadero a escala real y las tablas 2.12, 2.13, 2.14, 2.15, muestran el resultado de los cálculos de las áreas netas respectivamente.

PARED NORTE

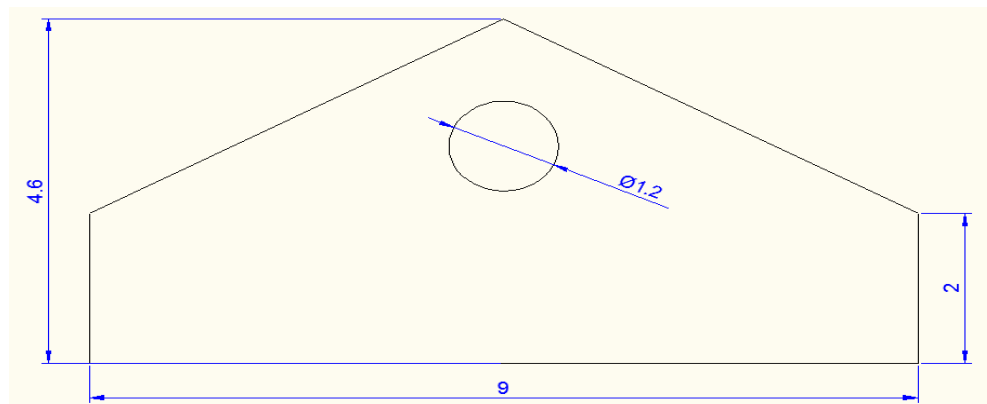


Figura 2.2 Plano de la pared norte en metros

ELEMENTO	AREA, m ²
Área neta de pared norte	28.41

Tabla 2.12 Área neta de pared norte

PARED SUR

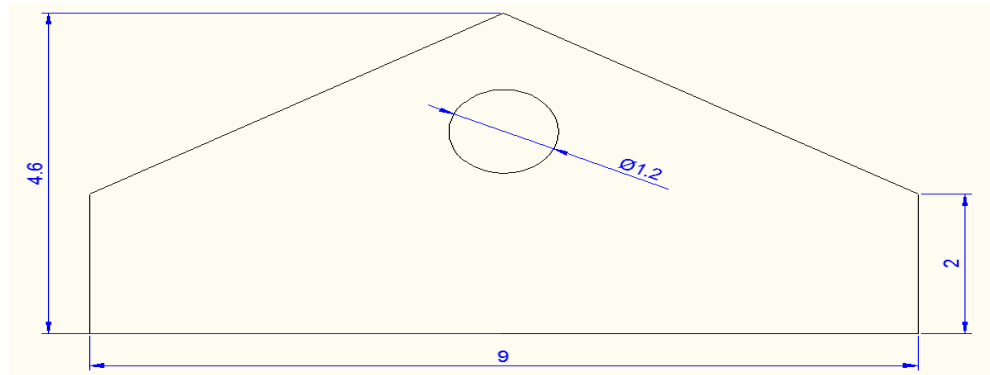


Figura 2.3 Plano de la pared sur en metros

ELEMENTO	AREA, m ²
Área neta de pared sur	28.41

Tabla 2.13 Área neta de pared sur

PARED ESTE

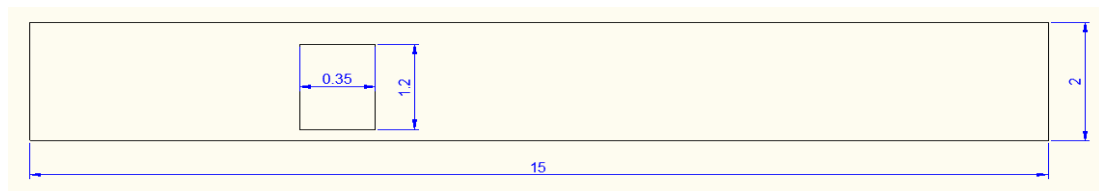


Figura 2.4 Plano de la pared este en metros

ELEMENTO	AREA, m ²
Área neta de pared este	29.38

Tabla 2.14 Área neta de pared este

PARED OESTE

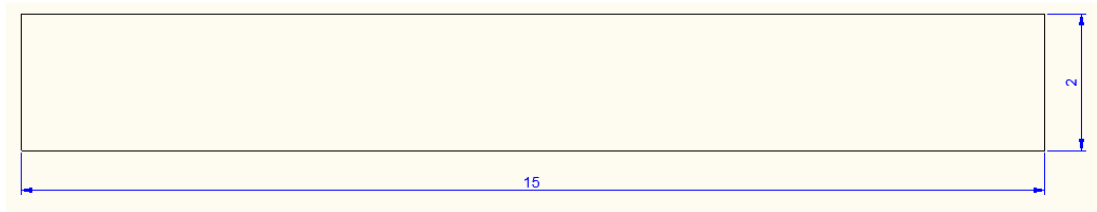


Figura 2.5 Plano de la pared oeste en metros

ELEMENTO	AREA, m ²
Área neta de pared oeste	29.80

Tabla 2.15 Área neta de pared oeste

2.4.2 CALCULO DEL ÁREA NETA DE LA PUERTA DEL INVERNADERO

Las figura 2.6 muestra las dimensiones reales de la puerta del invernadero a escala real y la tabla 2.16 muestra el resultado de los cálculos del área neta.

PUERTA

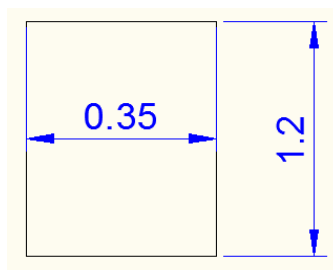


Figura 2.6 Plano de la puerta en metros

ELEMENTO	AREA, m ²
Puerta	0.41

Tabla 2.16 Área neta de la puerta

2.4.3 CALCULO DEL ÁREA NETA DEL TECHO DEL INVERNADERO

Las figura 2.7 muestra las dimensiones reales del techo del invernadero a escala real y la tabla 2.16 muestra el resultado de los cálculos del área neta.

TECHO

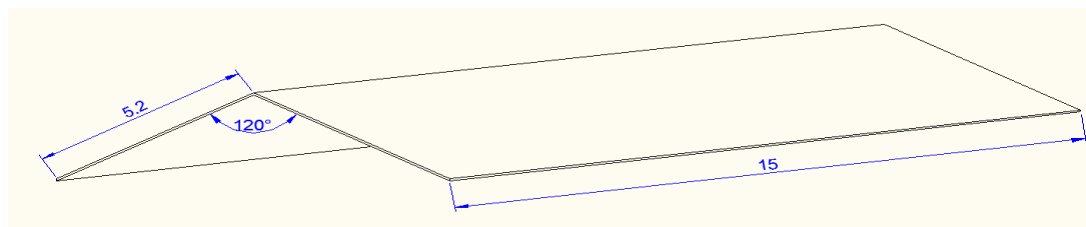


Figura 2.7 Plano del techo en metros

ELEMENTO	AREA, m ²
Techo	154.93

Tabla 2.17 Área neta del techo

2.4.4 CALCULO DEL ÁREA NETA DEL PISO DEL INVERNADERO A ESCALA REAL

Las figura 2.8 muestra las dimensiones reales del piso del invernadero a escala real y la tabla 2.18 muestra el resultado de los cálculos del área neta.

PISO

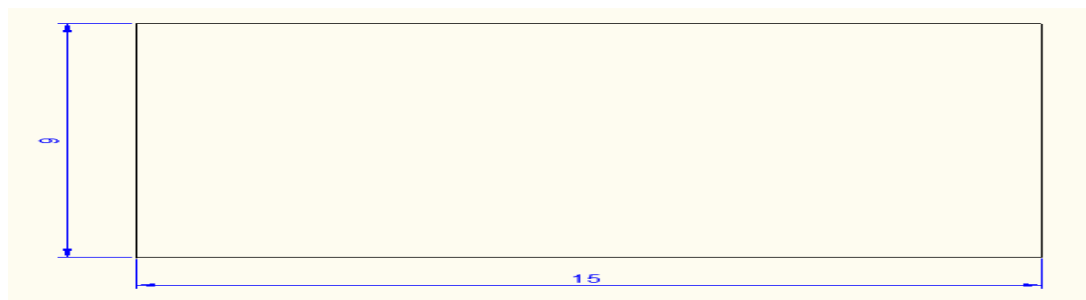


Figura 2.8 Plano del piso en metros

ELEMENTO	AREA, m ²
Piso	131.37

Tabla 2.18 Área neta del piso

2.5 CALCULO DE GANANCIAS DE CALOR (CARGAS TERMODINAMICAS)

Al realizar el cálculo de las cargas termodinámicas, se debe tener en cuenta una serie de parámetros sobre los cuales se desarrolla el estudio. En los anuarios meteorológicos del INAMHI (ANEXO 2.0, a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k), se tiene la hora crítica de diseño durante el día tomando como referencia de 6:00 a 17:00 y se tiene la hora crítica de diseño durante la noche tomando como referencia de 18:00 a 5:00.

Abril 2009 es el mes crítico donde se presentan la temperatura máxima en el día, Mayo 2009 es el mes crítico donde se presentan la temperatura mínima en la noche.

Noviembre 2008 o Enero 2009 y Julio 2009 son los meses críticos donde se presentan las Humedades promedio máximas y mínimas tanto en el día como en la noche respectivamente.

Los parámetros de diseño, se toman de las TABLAS 2.1, 2.2, 2.3 donde se obtiene las condiciones climáticas exteriores proporcionadas por el INAMHI. Se calcula el valor promedio para estos datos, y los resultados se muestran en la Tabla 2.19 que se detallan a continuación:

TEMPERATURA MÁXIMAS DEL AIRE EN EL DÍA, $T_{db}(T_{bs})$	289.5°K (16.5°C)
TEMPERATURA MÍNIMAS DEL AIRE EN LA NOCHE, $T_{db}(T_{bs})$	276.3°K (3.3°C)
HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO MÁXIMA EN EL DÍA ϕ	97%

HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO MÍNIMA EN LA NOCHE	56%
Ø	

Tabla 2.19 Condiciones climáticas externas promedio según el INAMHI

2.5.1 CONDICIONES IDEALES INTERNAS DESEADAS EN LOS INVERNADEROS REAL Y A ESCALA

TEMPERATURA BULBO SECO, T _{db} (T _{bs})	298°K (25°C)
HUMEDAD RELATIVA, Ø	65%

Tabla 2.20 Condiciones climáticas internas deseadas en los invernaderos real y a escala de laboratorio

2.5.2 CALCULO DE CARGAS TERMODINAMICAS EXTERNAS MÁXIMAS EN EL DÍA DEL INVERNADERO

Es el cálculo de flujo de calor que pasa a través de los elementos que conforman el invernadero, tomando en cuenta las condiciones externas máximas en el día; obtenidas por los anuarios meteorológicos del INAMHI.

2.5.2.1 CONDUCCIÓN A TRAVÉS DE LAS PAREDES DEL INVERNADERO

Es el flujo de calor que pasa a través de las paredes, viene dada por la ecuación 2.1 y se muestra en la figura 2.9.

$$Q_{\text{Pared}} = AUD \quad (2.1)$$

Donde:

- Q_{Pared} : Carga de calor sensible, KJ/s.
- A : Área de superficie de la pared externa, m²
- U : Coeficiente global de Transmisión de calor, KJ/ (s.m².°K)
- D : Diferencia de temperatura atreves de la pared, °K

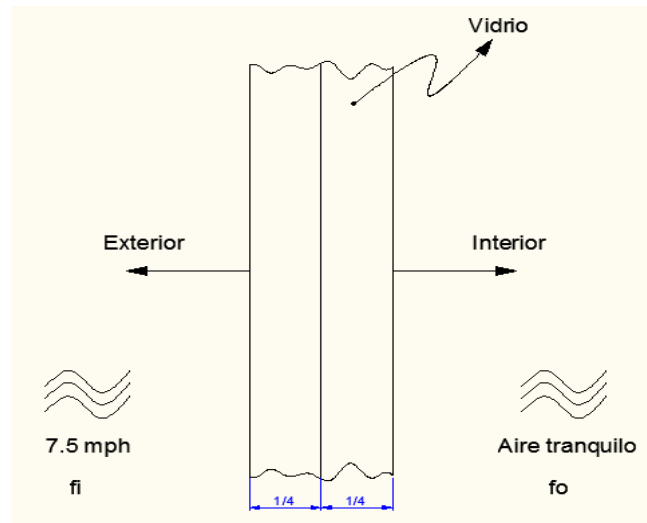


Figura 2.9 Sección transversal de la pared

Para este caso se tiene:

a) Para determinar U de las paredes se sigue los siguientes pasos:

- Se determina el tipo de paredes y sus materiales.
- Se establece los parámetros que intervienen.
- Se calcula el coeficiente para el tipo de pared dada por la ecuación 2.2.

$$U(\text{Pared}) = \frac{1}{\frac{1}{f_i} + \frac{1}{C_v} + \frac{1}{f_o}} \quad (2.2)$$

Donde:

- f_i : Conductancia termina exterior (C), Btu/ (hr.ft².°F) (Anexo 2.1)
- f_o : Conductancia termina interior (C), Btu/ (hr.ft².°F) (Anexo 2.1)
- C_v : Conductancia termina del vidrio (C), Btu/ (hr.ft².°F) (Anexo 2.1)

Para el presente diseño se tiene:

$$U = 4.06 \times 10^{-6} \text{ KJ/ (s.m}^2\text{.}^{\circ}\text{K)}$$

b) Se determina el área neta total (A) de las paredes, mostrada en la tabla 2.21, según TABLAS 2.12, 2.13, 2.14, 2.15

ELEMENTO	AREA, m ²
AREA NETA DE PARED NORTE	28.41
AREA NETA DE PARED SUR	28.41
AREA NETA DE PARED ESTE	29.38
AREA NETA DE PARED OESTE	29.80
TOTAL	116

Tabla 2.21 Suma de áreas netas de las paredes

$$A_{\text{Neta Paredes}} = 116 \text{ m}^2$$

c) Se determina la diferencia de temperaturas (D) según las TABLAS 2.19, 2.20

$$D = 8.5 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

Reemplazando los valores en la ecuación 2.1 se tiene:

$$Q_{\text{Pared}} = 4 \times 10^{-3} \text{ KJ/s}$$

2.5.2.2 CONDUCCIÓN A TRAVÉS DEL TECHO DEL INVERNADERO

Es el flujo de calor que pasa a través del techo, viene dada por la ecuación 2.3 y se muestra en la figura 2.10.

$$Q_{\text{Techo}} = AUD \quad (2.3)$$

Donde:

- Q_{Techo} : Carga de calor sensible, KJ/s.
- A : Área de superficie del techo externa, m²
- U : Coeficiente global de Transmisión de calor, KJ/ (s.m².⁰K)
- D : Diferencia de temperatura atreves del techo, ⁰K

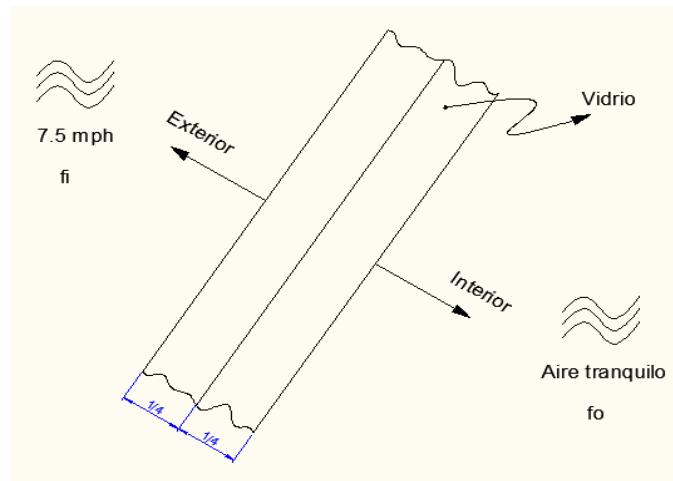


Figura 2.10 Sección transversal del techo

Para este caso se tiene:

a) Para determinar U de las paredes se sigue los siguientes pasos:

- Se determina el tipo de techo y sus materiales.
- Se establece los parámetros que intervienen.
- Se calcula el coeficiente para el tipo de techo dada por la ecuación 2.4

$$U(\text{Techo}) = \frac{1}{\frac{1}{f_i} + \frac{1}{C_v} + \frac{1}{f_o}} \quad (2.4)$$

Donde:

- f_i : Conductancia termina exterior (C), Btu/ (hr.ft².°F) (Anexo 2.1)
- f_o : Conductancia termina interior (C), Btu/ (hr.ft².°F) (Anexo 2.1)
- C_v : Conductancia termina del vidrio (C), Btu/ (hr.ft².°F) (Anexo 2.1)

Para el presente diseño se tiene:

$$U = 4.06 \times 10^{-6} \text{ KJ/ (s.m}^2\text{.}^{\circ}\text{K)}$$

b) Se determina el área neta (A) del techo según TABLA 2.17

$$A_{\text{Neta Techo}} = 154.93 \text{ m}^2$$

c) Se determina la diferencia de temperaturas (D) según las TABLAS 2.19, 2.20

$$D = 8.5 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

Reemplazando los valores en la ecuación 2.3 se tiene:

$$Q_{\text{Techo}} = 5.346 \times 10^{-3} \text{ KJ/s}$$

2.5.2.3 CONDUCCIÓN A TRAVÉS DE LA PUERTA DEL INVERNADERO

Es el flujo de calor que pasa a través de la puerta, viene dada por la ecuación 2.5 y se muestra en la figura 2.11.

$$Q_{\text{Puerta}} = AUD \quad (2.5)$$

Donde:

- Q_{Puerta} : Carga de calor sensible, KJ/s.
- A : Área de superficie de la puerta externa, m^2
- U : Coeficiente global de Transmisión de calor, $\text{KJ}/(\text{s.m}^2.^{\circ}\text{K})$
- D : Diferencia de temperatura atreves de la puerta, $^{\circ}\text{K}$

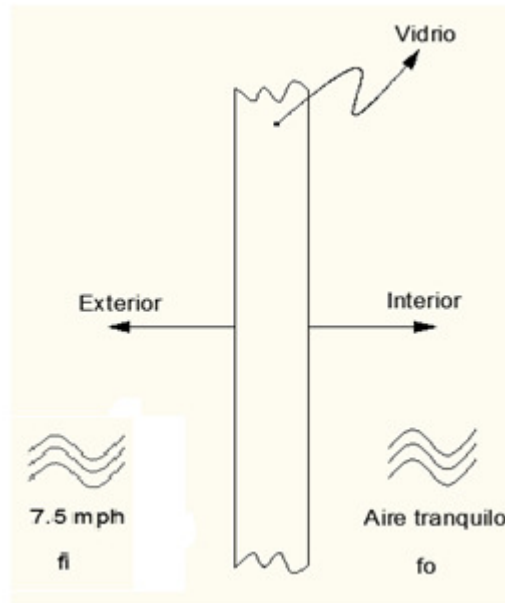


Figura 2.11 Sección transversal de la puerta

Para este caso se tiene:

a) Para determinar U de las paredes se sigue los siguientes pasos:

- Se determina el tipo de la puerta y sus materiales.
- Se establece los parámetros que intervienen.
- Se calcula el coeficiente para el tipo de la puerta dada por la ecuación 2.6

$$U(\text{Puerta}) = \frac{1}{\frac{1}{f_i} + \frac{1}{C_v} + \frac{1}{f_o}} \quad (2.6)$$

Donde:

- f_i : Conductancia termina exterior (C), Btu/ (hr.ft².°F) (Anexo 2.1)
- f_o : Conductancia termina interior (C), Btu/ (hr.ft².°F) (Anexo 2.1)
- C_v : Conductancia termina del vidrio (C), Btu/ (hr.ft².°F) (Anexo 2.1)

Para el presente diseño se tiene:

$$U = 7.01 \times 10^{-6} \text{ KJ/ (s.m}^2\text{.}^{\circ}\text{K)}$$

b) Se determina el área neta (A) de la puerta según TABLA 2.16

$$A_{\text{Neta Puerta}} = 0.41 \text{ m}^2$$

c) Se determina la diferencia de temperaturas (D) según las TABLAS 2.19, 2.20

$$D = 8.5 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

Reemplazando los valores en la ecuación 2.5 se tiene:

$$Q_{\text{Puerta}} = 2.442 \times 10^{-5} \text{ KJ/s}$$

2.5.2.4 CONDUCCIÓN A TRAVÉS DEL PISO DEL INVERNADERO

Es el flujo de calor que pasa a través del piso, viene dada por la ecuación 2.7 y se muestra en la figura 2.12.

$$Q_{\text{Piso}} = AUD \times 24h \quad (2.7)$$

Donde:

- Q_{Piso} = Carga de calor sensible, KJ/s
- A = Área de superficie del piso externa, m^2
- U = Coeficiente global de Transmisión de calor, $\text{KJ}/(\text{s} \cdot \text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{K})$
- D = Diferencia de temperatura a través del Piso, $^{\circ}\text{K}$

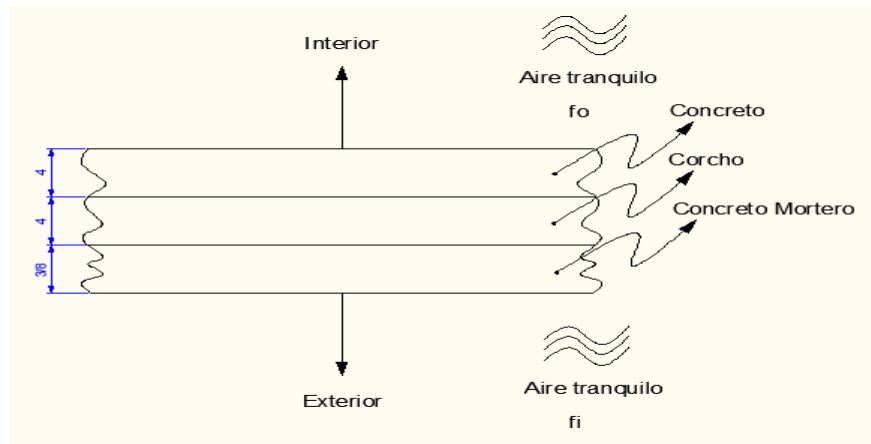


Figura 2.12 Sección transversal del piso

Para este caso se tiene:

a) Para determinar U del piso se sigue los siguientes pasos:

- Se determina el tipo de piso y sus materiales.
- Se establece los parámetros que intervienen.
- Se calcula el coeficiente para el tipo de piso dada por la ecuación 2.8

$$U(\text{Piso}) = \frac{1}{\frac{1}{f_i} + \frac{X_1}{K_1} + \frac{X_2}{K_2} + \frac{X_3}{K_3} + \frac{1}{f_o}} \quad (2.8)$$

Donde:

- f_i : Conductancia termina exterior (C), Btu/ (hr.ft².°F) (Anexo 2.1)
- f_o : Conductancia termina interior (C), Btu/ (hr.ft².°F) (Anexo 2.1)
- $\frac{X_1}{K_1}$: Conductancia termina (1/K) del concreto con agregado de arena de 4", Btu/ (hr.ft².°F) (Anexo 2.1)
- X_2 : Espesor de la plancha de corcho ft.
- K_2 : Conductancia termina (K) de un placa de corcho, Btu/ (hr.ft².°F) (Anexo 2.1)
- X_3 : Espesor del concreto mortero ft.
- K_3 : Conductancia termina (K) del concreto mortero, Btu/ (hr.ft².°F) (Anexo 2.1)

Para el presente diseño se tiene:

$$U = 7.9 \times 10^{-7} \text{ KJ/ (s.m}^2\text{.}^{\circ}\text{K)}$$

b) Se determina el área neta (A) del Piso según TABLA 2.18

$$A_{\text{Neta Piso}} = 131.37 \text{ m}^2$$

c) Se determina la diferencia de temperaturas (D) según las TABLAS 2.19, 2.20

$$D = 8.5 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

Reemplazando los valores en la ecuación 2.7 se tiene:

$$Q_{\text{Piso}} = 8.214 \times 10^{-4} \text{ KJ/s}$$

Se reemplaza un valor Q_1 como calor total de transferencia de calor por paredes, piso y techo como se muestra en la ecuación 2.9 a continuación:

$$Q_1 = Q_{\text{Paredes}} + Q_{\text{Techo}} + Q_{\text{Puerta}} + Q_{\text{Piso}} \quad (2.9)$$

Reemplazando los valores en la ecuación 2.9 se tiene:

$$Q_1 = 1.018 \times 10^{-2} \text{ KJ/s}$$

2.5.3 CALCULO DE CARGAS TERMODINÁMICAS INTERNAS MÁXIMAS EN EL DÍA DEL INVERNADERO

Es el cálculo de flujo de calor que pasa a través de los elementos que conforman el invernadero, tomando en cuenta las condiciones internas máximas en el día; obtenidas por los anuarios meteorológicos del INAMHI.

2.5.3.1 CAMBIOS DE AIRE DEL INVERNADERO

“El calor que debe ser eliminado por el aire caliente del exterior para reducirle su temperatura y contenido de humedad a las condiciones de diseño del espacio, constituye una parte de la carga del enfriamiento total del equipo. A esta parte de la carga se le llama cambio de aire”²⁰ y viene dada por la ecuación 2.10.

$$Q_2 = (\text{Volumen Interior}) (\# \text{ Cambios de Aire}) \quad (2.10)$$

Las dimensiones del invernadero se muestran en la figura 2.13 y la tabla 2.22 muestra el resultado de los cálculos del volumen interior del invernadero.

INVERNADERO

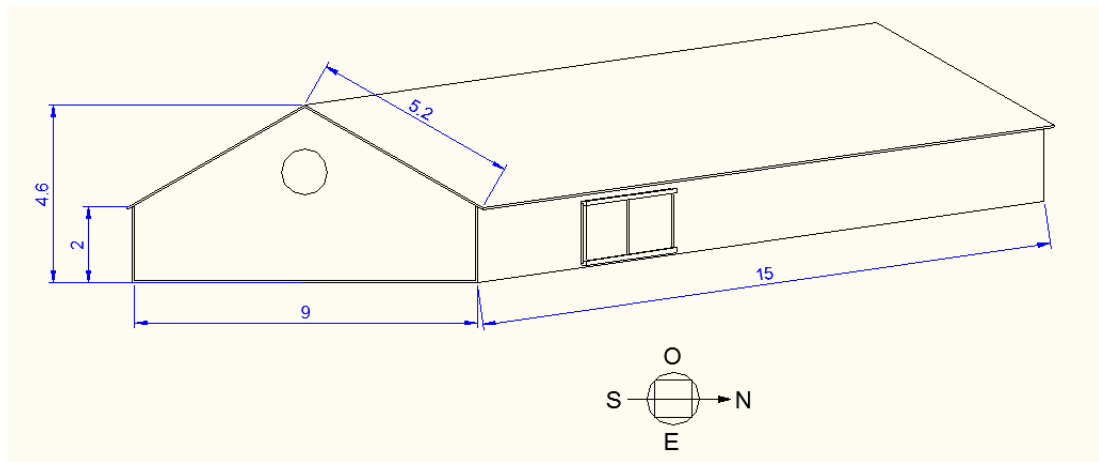


Figura 2.13 Plano del invernadero en metros

ELEMENTO	VOLUMEN, m ³
INVERNADERO	441.05 (15575.8 ft ³)

Tabla 2.22 Volumen interior del invernadero

²⁰ DOSSAT, Roy, *Principios de Refrigeración*, Decimoquinta Edición, Compañía Editorial Continental, México, 1980, Pg. 189.

Según los números de cambio del (Anexo 2.2) interpolamos el número de cambio con los valores de volumen interno del invernadero y se obtiene:

Cambio de aire del invernadero = 3.85 por 24 horas = 0.16 por hora

Reemplazando el Volumen interior del invernadero y el número de cambios del invernadero en la Ecuación 2.10 se tiene:

$$Q_2 = 1.96 \times 10^{-2} \text{ KJ/s}$$

2.5.3.2 CARGA DEL PRODUCTO DEL INVERNADERO

Es el flujo de calor del producto, viene dada por el siguiente factor:

“Fotosíntesis: Proceso por el cual, las plantas con clorofila producen carbohidratos a partir del hidrógeno del agua y del CO₂ (Dióxido de Carbono) atmosférico.

Fundamentalmente son dos fases:

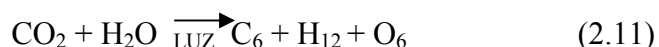
a) Lumínica: La energía lumínica es captada por la clorofila de los cloroplastos y mediante esta energía se rompe la molécula de H₂O (Agua); el oxígeno va a la atmosfera como subproducto; se conserva el H₂ para formar la molécula de glucosa (Carga del producto); el H₂ es tomado por la coenzima NAD (Nicotinamida Adenina Dinucleótido) en forma de NADH₂, por otro lado, el CO₂ penetra por los poros y, tanto el C, como el O₂ se utilizan en la formación de la molécula de glucosa.

b) Oscura: es el proceso de síntesis química para formar la molécula de glucosa C₆H₁₂O₆, con los elementos preparados en la fase lumínica.

Debido a que las rosas van a ser tratadas de tal manera que podamos obtener un tallo largo y flor pequeña, las características dentro del invernadero van a ser constantes e

ideales, se toma como factor importante que durante todo el tiempo de su crecimiento se lo hace en fase lumínica y no en fase oscura.”²¹

La carga que el producto, viene dada por la ecuación 2.11.

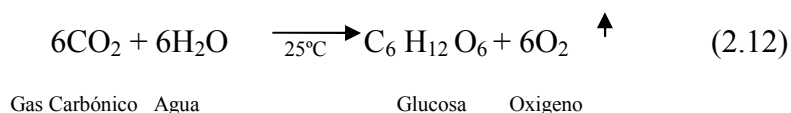


La luz viene dada como la temperatura constante dentro del invernadero

ELEMENTO	TEMPERATURA
Luz = temperatura bulbo seco, $T_{db}(T_{bs})$	298 °K (25°C)

Tabla 2.23 Condiciones climáticas internas de temperatura deseada (Luz)

Para este caso se tiene la ecuación 2.12

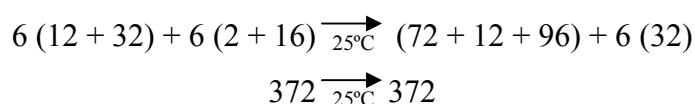


El ADP (Adenisindifosfato) en las mitocondrias se transforma en ATP (Adenosintrifosfato) que es la energía liberada o distribuida de acuerdo a la necesidad celular donde la masa mol viene dada por la tabla 2.24

ELEMENTO	MASA MOL
Carbón	12
Hidrogeno	1
Oxígeno	15

Tabla 2.24 Cantidad de masa mol

Reemplazando la cantidad molecular en la Ecuación 2.11 se tiene:



²¹ PASCUAL, Juan, *Diccionario Hola Ciencias*, Primera Edición, SUSAETA EDICIONES, Colombia – Medellín, 1993, Pg. 181.

Se tiene:

$$Q_{\text{Glucosa/hoja}} = 180 \text{ gr / mol a } T_{\text{bs interior}} = 298 \text{ °K (25°C)} \quad (\text{Por hoja})$$

Pero para la reacción total se toma en cuenta la glucosa más el oxígeno volatizado que forma parte de la atmósfera, que para este caso se toma cuenta como la carga del producto y se tiene:

$$Q_{\text{Producto/hoja}} = 372 \text{ gr / mol a } T_{\text{bs interior}} = 298 \text{ °K (25°C)}$$

Tomando en cuenta que se tiene un promedio de 15 hojas por rosa y un promedio de 7 rosas por cada m^2 y que en este invernadero se tiene un área de 131.37 m^2 se deduce un promedio de hojas total de 13793.85 hojas ~ 13794 hojas

Se tiene:

$2/5 \times 372 \times 13794 = 2052547.2$ Calorías en 24 horas y como $1 \text{ KJ} = 238.84$ Calorías se tiene:

$$Q_{\text{Producto}} = 9.94 \times 10^{-2} \text{ KJ/s}$$

2.5.3.3 CARGAS VARIAS DEL INVERNADERO

Las cargas varias involucran componentes generadores de energía, los cuales hacen que varíen las condiciones internas; estos componentes pueden ser: luces, personas, aparatos y equipos industriales, etc.

2.5.3.3.1 CARGAS POR ALUMBRADO DEL INVERNADERO

Es el flujo de calor por alumbrado, viene dada por la ecuación 2.13

$$Q_{\text{Alumbrado}} = Q_s \frac{1 \text{ E-3 KJ}}{\text{Watts.s}} \quad (2.13)$$

Donde:

- $Q_{\text{Alumbrado}}$: Carga de calor sensible, KJ/s.
- 1×10^{-3} : Factor de conversión de Watts a KJ/s
- Q_s : Potencia total de las lámparas, Watts

Para este caso se determina Q_s de acuerdo a la ecuación 2.14

$$Q_s = \text{Número de lámparas} \times \text{Numero de arreglos} \times \text{Potencia} \quad (2.14)$$

Donde:

- Número de lámparas = 2
- Número de arreglos = 35
- Potencia = 60 Watts

Para el presente diseño se tiene:

$$Q_s = 4200 \text{ Watts}$$

Reemplazando Q_s en la ecuación 2.13 se tiene:

$$Q_{\text{Alumbrado}} = 4.2 \text{ KJ/s}$$

2.5.3.3.2 CARGAS POR VENTILADORES DEL INVERNADERO

Es el flujo de calor por ventiladores, viene dada por la ecuación 2.15

$$Q_{\text{Ventiladores}} = \text{Factor} \times \text{Potencia} \quad (2.15)$$

Donde:

- Factor : Calor equivalente de motores eléctricos, Btu / Hp – hr
- Potencia = 1 Hp

Nota:

(*) El valor de la potencia es el resultado de dos ventiladores de ½ Hp cada uno.

Para este caso se tiene:

a) Se determina el factor de Calor equivalente de motores eléctricos (Anexo 2.3)

$$\text{Factor} = 4250 \text{ Btu} / \text{Hp} - \text{hr}$$

Reemplazando Factor en la ecuación 2.15 se tiene:

$$Q_{\text{Ventiladores}} = 1.24 \text{ KJ/s}$$

2.5.3.3.3 CARGA SENSIBLE POR VENTILACION DEL INVERNADERO

Es el flujo de calor sensible por ventilación, viene dada por la ecuación 2.16

$$Q_{s \text{ ventilación}} = 3.22 \times 10^{-4} \times \Delta T \times \text{SCFM} \quad (2.16)$$

Donde:

- $Q_{s \text{ ventilación}}$: Calor sensible en KJ/s
- 3.22×10^{-4} : Factor de conversión a KJ/s.
- ΔT : Diferencia de temperaturas externa e interna.
- SCFM : Calor de ventilación, cfm.

a) Se determina ΔT

$$T_{\text{bs interior}} = 298 \text{ }^{\circ}\text{K} \quad (\text{TABLA 2.19})$$

$$T_{\text{bs exterior}} = 289.5 \text{ }^{\circ}\text{K} \quad (\text{TABLA 2.20})$$

Para este caso se tiene:

$$\Delta T = 8.5 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

b) Se determina SCFM dada por la ecuación 2.17

$$\text{SCFM} = \frac{Q}{\text{Persona}} \times \# \text{ Personas} \quad (2.17)$$

Industrial (including agricultural processing)

(Occupational safety laws in the various states usually regulate the ventilation requirements. There are almost always far in excess of the ventilation requirements for the occupants)

ASRAHE, Standard 62 – 73 list requirements for occupants only. In general 25 cfm per occupant is recommended except for mining or metalworking, where 40 cfm is recommended. (Anexo 2.4)

Como se tiene 10 personas en el Día se tiene:

$$\frac{Q}{\text{Persona}} = 25 \text{ cfm}$$

Reemplazando en la ecuación (2.17)

$$\text{SCFM} = 250 \text{ cfm}$$

Reemplazando en la ecuación (2.16)

$$Q_s \text{ Ventilación} = 0.684 \text{ KJ/s}$$

2.5.3.3.4 CARGA LATENTE POR VENTILACIÓN DEL INVERNADERO

Es el flujo de calor latente por ventilación, viene dada por la ecuación 2.18

$$Q_{L \text{ Ventilación}} = 1.41 \times \Delta W \times \text{SCFM} \quad (2.18)$$

Donde:

- $Q_{s \text{ ventilación}}$: Calor sensible en KJ/s
- 1.41 : Factor de conversión a KJ/s.
- ΔW . Diferencia de humedades específicas.
- SCFM : Calor de ventilación, cfm.

a) Se determina ΔW dada por la ecuación 2.19

$$\Delta W = W_{\text{Interior}} - W_{\text{Exterior}} \quad (2.19)$$

Se recurre al uso de las cartas psicométrica para determinar los valores de humedad específica basándose en los datos de temperatura y humedad relativa tanto en el invernadero como en el exterior (TABLA 2.19 Y TABLA 2.20).

$$W_{\text{Interior}} = 0.013 \quad (\text{FIGURA 1.8, } T_{\text{bs interior}} = 298 \text{ }^{\circ}\text{K, } \phi_{\text{interior}} = 65 \%)$$

$$W_{\text{Exterior}} = 0.011 \quad (\text{FIGURA 1.8, } T_{\text{bs exterior}} = 289.5 \text{ }^{\circ}\text{K, } \phi_{\text{exterior}} = 97 \%)$$

Reemplazando en la ecuación (2.19)

$$\Delta W = 0.002 \text{ lb/lb (Libra por libra de aire seco)}$$

$$\text{SCFM} = 250 \text{ cfm (Cálculo anterior)}$$

Reemplazando en la ecuación (2.18)

$$Q_{L \text{ Ventilación}} = 0.70 \text{ KJ/s}$$

2.5.3.3.5 CARGAS POR PERSONAS DEL INVERNADERO

Es el flujo de calor latente por ventilación, viene dada por la ecuación 2.20

$$Q_{Personas} = \frac{Q_s}{Personas} \times \# Persones \times CLF \quad (2.20)$$

Donde:

- Q_s : Carga de calor sensible, KJ/s
- $Q_s / personas$: Calor sensible por persona, KJ/s
- CLF : Factor de carga de enfriamiento

Para este caso se tiene:

a) Se determina $Q_s / personas$

$$Q_s / personas = 565 \text{ Btu/hr} = 0.16 \text{ KJ/s} \quad (\text{ANEXO 2.9, De pie, trabajo pesado})$$

b) Se determina el número de personas en el invernadero en las condiciones de diseño

$$\# Persones = 10$$

c) Se determina el valor de CLF

$$CLF = 0.85 \quad (\text{ANEXO 2.9, 8 hr en el invernadero después de la entrada})$$

Reemplazando los valores en las ecuaciones (2.20)

$$Q_{Personas} = 1.36 \text{ KJ/s}$$

Se reemplaza un valor Q_4 como calor total de transferencia de calor de Alumbrado, Ventiladores, Personas como se muestra en la ecuación 2.21

$$Q_4 = Q_{Alumbrado} + Q_{Ventiladores} + Q_{s \text{ ventilación}} + Q_{Personas} \quad (2.21)$$

Reemplazando los valores en la ecuación 2.21 se tiene:

$$Q_4 = 7.48 \text{ KJ/s}$$

2.5.4 RESUMEN DE CARGAS MÁXIMAS EN EL DÍA DEL INVERNADERO A ESCALA REAL

Resumen de todas las cargas termodinámicas máximas en el día que intervienen en el invernadero se muestra en la tabla 2.25.

CARGAS EXTERNAS		
ELEMENTO	CALOR SENSIBLE KJ/s	CALOR LATENTE KJ/s
PAREDES	4×10^{-3}	---
TECHO	5.346×10^{-3}	---
PUERTA	2.442×10^{-5}	---
PISO	8.214×10^{-4}	---
SUB TOTAL	1.018×10^{-2}	---

CARGAS INTERNAS		
ELEMENTO	CALOR SENSIBLE KJ/s	CALOR LATENTE KJ/s
CAMBIOS DE AIRE	1.96×10^{-2}	---
PRODUCTO	9.94×10^{-2}	---
ALUMBRADO	4.2	---
VENTILADORES	1.24	---
SENSIBLE POR VENTILACIÓN	0.684	---
LATENTE POR VENTILACIÓN	---	0.70
PERSONAS	1.36	---
SUB TOTAL	7.603	0.70

TOTAL	7.613	0.70
--------------	--------------	-------------

Tabla 2.25 Resumen de cargas máximas en el día del invernadero

2.5.5 CALCULO DE CARGAS TERMODINÁMICAS EXTERNAS MÍNIMAS EN LA NOCHE DEL INVERNADERO

Es el cálculo de flujo de calor que pasa a través de los elementos que conforman el invernadero, tomando en cuenta las condiciones externas mínimas en la noche; obtenidas por los anuarios meteorológicos del INAMHI.

2.5.5.1 CONDUCCIÓN A TRAVÉS DE LAS PAREDES DEL INVERNADERO

Es el flujo de calor que pasa a través de las paredes, viene dada por la ecuación 2.1 y se muestra en la figura 2.9 ya expuestas y explicadas en la sección 2.5.2.1 por lo tanto se tiene directamente los siguientes resultados

$$U = 4.06 \times 10^{-6} \text{ KJ/ (s.m}^2\text{.}^{\circ}\text{K)}$$

a) Se determina el área neta (A) de las paredes según TABLAS 2.12, 2.13, 2.14, 2.15

$$A_{\text{Neta Paredes}} = 116 \text{ m}^2$$

b) Se determina la diferencia de temperaturas (D) según las TABLAS 2.19, 2.20

$$D = 21.7 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

Reemplazando los valores en la ecuación 2.1 ya explicada, se tiene:

$$Q_{\text{Pared}} = 1.021 \times 10^{-2} \text{ KJ/s}$$

2.5.5.2 CONDUCCIÓN A TRAVÉS DEL TECHO DEL INVERNADERO

Es el flujo de calor que pasa a través del techo, viene dada por la ecuación 2.3 y se muestra en la figura 2.10 ya expuestas y explicadas en la sección 2.5.2.2 por lo tanto se tiene directamente los siguientes resultados:

$$U = 4.06 \times 10^{-6} \text{ KJ/ (s.m}^2\text{.}^{\circ}\text{K)}$$

a) Se determina el área neta (A) del techo según TABLA 2.17

$$A_{\text{Neta Techo}} = 154.93 \text{ m}^2$$

b) Se determina la diferencia de temperaturas (D) según las TABLAS 2.19, 2.20

$$D = 21.7 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

Reemplazando los valores en la ecuación 2.3 ya explicada se tiene:

$$Q_{\text{Techo}} = 1.364 \times 10^{-2} \text{ KJ/s}$$

2.5.5.3 CONDUCCIÓN A TRAVÉS DE LA PUERTA DEL INVERNADERO

Es el flujo de calor que pasa a través de la puerta, viene dada por la ecuación 2.5 y se muestra en la figura 2.11 ya expuestas y explicadas en la sección 2.5.2.3 por lo tanto se tiene directamente los siguientes resultados:

$$U = 7.01 \times 10^{-6} \text{ KJ/ (s.m}^2\text{.}^{\circ}\text{K)}$$

a) Se determina el área neta (A) de la puerta según TABLA 2.16

$$A_{\text{Neta Puerta}} = 0.41 \text{ ft}^2$$

b) Se determina la diferencia de temperaturas (D) según las TABLAS 2.19, 2.20

$$D = 21.7 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

Reemplazando los valores en la ecuación 2.5 ya explicada se tiene:

$$Q_{\text{Puerta}} = 6.236 \times 10^{-5} \text{ KJ/s}$$

2.5.5.4 CONDUCCIÓN A TRAVÉS DEL PISO DEL INVERNADERO

Es el flujo de calor que pasa a través del piso, viene dada por la ecuación 2.7 y se muestra en la figura 2.12 ya expuestas y explicadas en la sección 2.5.2.4 por lo tanto se tiene directamente los siguientes resultados:

$$U = 7.9 \times 10^{-7} \text{ KJ/ (s.m}^2\text{.}^{\circ}\text{K)}$$

a) Se determina el área neta (A) del Piso según TABLA 2.18

$$A_{\text{Neta Piso}} = 131.37 \text{ m}^2$$

b) Se determina la diferencia de temperaturas (D) según las TABLAS 2.19, 2.20

$$D = 21.7 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

Reemplazando los valores en la ecuación 2.7 ya explicada se tiene:

$$Q_{\text{Piso}} = 2.252 \times 10^{-3} \text{ KJ/s}$$

Se reemplaza un valor Q_1 como calor total de transferencia de calor por paredes, piso y techo como se muestra en la ecuación 2.9 ya explicada en la sección 2.5.2.4 y se tiene:

$$Q_1 = 2.216 \times 10^{-2} \text{ KJ/s}$$

2.5.6 CALCULO DE CARGAS TERMODINÁMICAS INTERNAS MÍNIMAS EN LA NOCHE DEL INVERNADERO

Es el cálculo de flujo de calor que pasa a través de los elementos que conforman el invernadero, tomando en cuenta las condiciones internas mínimas en la noche; obtenidas por los anuarios meteorológicos del INAMHI.

2.5.6.1 CAMBIOS DE AIRE DEL INVERNADERO

Es el flujo de calor por cambios de aire, viene dada por la ecuación 2.10 ya expuesta y explicada en la sección 2.5.3.1 por lo tanto se tiene directamente los siguientes resultados:

Cambio de aire del invernadero = 3.85 por 24 horas = 0.16 por hora

Reemplazando el Volumen interior del invernadero de la Tabla 2.22 de la sección 2.5.3.1 y el número de cambios del invernadero en la Ecuación 2.10 se tiene:

$$Q_2 = 1.96 \times 10^{-2} \text{ KJ/s}$$

2.5.6.2 CARGA DEL PRODUCTO DEL INVERNADERO

Es el flujo de calor del producto, viene dada por la ecuación 2.12 ya expuesta y explicada en la sección 2.5.3.2 por lo tanto se tiene directamente el siguiente resultado:

$$Q_{\text{Producto}} = 9.94 \times 10^{-2} \text{ KJ/s}$$

2.5.6.3 CARGAS VARIAS

Las cargas varias involucran componentes generadores de energía, los cuales hacen que varíen las condiciones internas; estos componentes pueden ser: luces, personas aparatos y equipos industriales, etc.

2.5.6.3.1 CARGAS POR ALUMBRADO DEL INVERNADERO

Es el flujo de calor por alumbrado, viene dada por la ecuación 2.13 ya expuesta y explicada en la sección 2.5.3.3.1 por lo tanto se tiene directamente el siguiente resultado:

$$Q_{\text{Alumbrado}} = 4.2 \text{ KJ/s}$$

2.5.6.3.2 CARGAS POR VENTILADORES DEL INVERNADERO

Es el flujo de calor por alumbrado, viene dada por la ecuación 2.15 ya expuesta y explicada en la sección 2.5.3.3.2 por lo tanto se tiene directamente el siguiente resultado:

$$Q_{\text{Ventiladores}} = 1.24 \text{ KJ/s}$$

2.5.6.3.3 CARGA SENSIBLE POR VENTILACIÓN DEL INVERNADERO

Es el flujo de calor sensible por ventilación, viene dada por la ecuación 2.16 ya expuesta y explicada en la sección 2.5.3.3.3 por lo tanto se tiene directamente el siguiente resultado:

a) Se determina ΔT

$$T_{\text{bs interior}} = 298 \text{ }^{\circ}\text{K} \quad (\text{TABLA 2.19})$$

$$T_{\text{bs exterior}} = 276.3 \text{ }^{\circ}\text{K} \quad (\text{TABLA 2.20})$$

Para este caso se tiene:

$$\Delta T = 21.7 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

b) Se determina SCFM de la ecuación 2.17 ya explicada en la sección 2.5.3.3.3

Como se tiene 2 personas en la Noche se tiene:

$$\frac{Q}{\text{Persona}} = 25 \text{ cfm}$$

Reemplazando en la ecuación (2.17) ya explicada se tiene:

$$\text{SCFM} = 50 \text{ cfm}$$

Reemplazando en la ecuación (2.16) ya explicada se tiene:

$$Q_{s \text{ Ventilación}} = 0.349 \text{ KJ/s}$$

2.5.6.3.4 CARGA LATENTE POR VENTILACIÓN DEL INVERNADERO

Es el flujo de calor latente por ventilación, viene dada por la ecuación 2.18 ya expuesta y explicada en la sección 2.5.3.3.4 por lo tanto se tiene directamente el siguiente resultado:

a) Se determina ΔW ya expuesta y explicada en la ecuación 2.19.

Se recurre al uso de las cartas psicométrica para determinar los valores de humedad específica basándose en los datos de temperatura y humedad relativa tanto en el invernadero como en el exterior (TABLA 2.18 Y TABLA 2.19).

$$W_{\text{Interior}} = 0.013 \quad (\text{FIGURA 1.8, } T_{\text{bs interior}} = 298 \text{ }^{\circ}\text{K, } \phi_{\text{interior}} = 65 \%)$$

$$W_{\text{Exterior}} = 0.002 \quad (\text{FIGURA 1.8, } T_{\text{bs exterior}} = 276.3 \text{ }^{\circ}\text{K, } \phi_{\text{exterior}} = 56 \%)$$

Reemplazando en la ecuación (2.19) ya explicada se tiene:

$$\Delta W = 0.011 \text{ lb/lb (Libra por libra de aire seco)}$$

$$\text{SCFM} = 50 \text{ cfm (Cálculo anterior)}$$

Reemplazando en la ecuación (2.18) ya explicada se tiene:

$$Q_{L \text{ Ventilación}} = 0.775 \text{ KJ/s}$$

2.5.6.3.5 CARGAS POR PERSONAS DEL INVERNADERO

Es el flujo de calor latente por ventilación, viene dada por la ecuación 2.20 ya expuesta y explicada en la sección 2.5.3.3.5 por lo tanto se tiene directamente el siguiente resultado:

a) Se determina Q_s / personas

$$Q_s / \text{personas} = 565 \text{ Btu/hr} = 0.16 \text{ KJ/s} \quad (\text{ANEXO 2.5, De pie, trabajo pesado})$$

b) Se determina el número de personas en el invernadero en las condiciones de diseño

$$\# \text{ Personas} = 2$$

c) Se determina el valor de CLF

$$\text{CLF} = 0.06 \quad (\text{ANEXO 2.6, 8 hr en el invernadero después de la entrada})$$

Reemplazando los valores en la ecuación (2.20) ya explicada se tiene:

$$Q_{\text{Personas}} = 1.92 \times 10^{-2} \text{ KJ/s}$$

Se reemplaza un valor Q_4 como calor total de transferencia de calor de Alumbrado, Ventiladores, Personas como se muestra en la ecuación 2.21 ya explicada en la sección 2.5.3.3.5 y se tiene:

$$Q_4 = 5.808 \text{ KJ/s}$$

2.5.7 RESUMEN DE CARGAS MÍNIMAS EN LA NOCHE DEL INVERNADERO

Resumen de todas las cargas termodinámicas máximas en el día que intervienen en el invernadero se muestra en la tabla 2.26.

CARGAS EXTERNAS		
ELEMENTO	CALOR SENSIBLE KJ/s	CALOR LATENTE KJ/s
PAREDES	1.021×10^{-2}	---
TECHO	1.364×10^{-2}	---
PUERTA	6.236×10^{-5}	---
PISO	2.252×10^{-3}	---
SUB TOTAL	2.616×10^{-2}	---

CARGAS INTERNAS		
ELEMENTO	CALOR SENSIBLE KJ/s	CALOR SENSIBLE KJ/s
CAMBIOS DE AIRE	1.96×10^{-2}	---
PRODUCTO	9.94×10^{-2}	---
ALUMBRADO	4.2	---
VENTILADORES	1.24	---
SENSIBLE POR VENTILACIÓN	0.349	---
LATENTE POR VENTILACIÓN	---	0.775
PERSONAS	1.92×10^{-2}	---
SUB TOTAL	5.927	0.775

TOTAL	5.953	0.775
--------------	--------------	--------------

Tabla 2.26 Resumen de cargas mínimas en la noche del invernadero

2.5.8 DIMENSIONES DEL INVERNADERO A ESCALA

Las dimensiones del invernadero a escala de laboratorio son tomadas de los datos de las dimensiones del invernadero a escala real y estas son reducidas a una escala de 1:16 como se muestra en la tabla 2.27.

DIMENSIÓN	MILIMETROS, mm	METROS, m
Largo	947.2	0.947
Ancho	584.4	0.584
Altura	288	0.288

Tabla 2.27 Dimensiones del invernadero

2.5.8.1 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DEL INVERNADERO A ESCALA

Los materiales de construcción del invernadero a escala de laboratorio se muestran en las tablas 2.28, 2.29, 2.30, 2.31.

PAREDES

ELEMENTO	MATERIAL	ESPESOR, mm
Pared norte	Acrílico	3
Pared sur	Acrílico	3
Pared este	Acrílico	3
Pared oeste	Acrílico	3

Tabla 2.28 Material de las paredes

TECHO

ELEMENTO	MATERIAL	ESPESOR, mm
Techo	Acrílico	3

Tabla 2.29 Material del techo

SUELO

ELEMENTO	MATERIAL	ESPESOR, mm
Suelo	Acrílico	3

Tabla 2.30 Material del suelo

PUERTA

ELEMENTO	MATERIAL	ESPESOR, mm
Puerta	Acrílico	3

Tabla 2.31 Material de la puerta

2.5.8.2 MATERIAL DEL ALUMBRADO SIMULADO POR RESISTENCIA TUBULAR

El material de construcción del alumbrado simulado se muestra en la tabla 2.32.

ELEMENTO	MATERIAL	POTENCIA, Watts
Alumbrado simulado	Resistencia tubular	246

Tabla 2.32 Material del alumbrado simulado por resistencia tubular

2.9 CÁLCULO DE LAS ÁREAS DEL INVERNADERO A ESCALA

Para el cálculo de las áreas del invernadero, se debe tomar en cuenta el área total de cada elemento como son las paredes norte, sur este, oeste además el techo y piso; luego se resta de estas, las áreas de las ranuras respectivas.

2.9.1 CALCULO DE LAS ÁREAS NETAS DE LAS PAREDES DEL INVERNADERO A ESCALA

Las figuras 2.14, 2.15, 2.16, 2.17, muestran las dimensiones reales de las paredes del invernadero a escala de laboratorio y las tablas 2.33, 2.34, 2.35, 2.36, muestran el resultado de los cálculos de las áreas netas respectivamente.

PARED NORTE

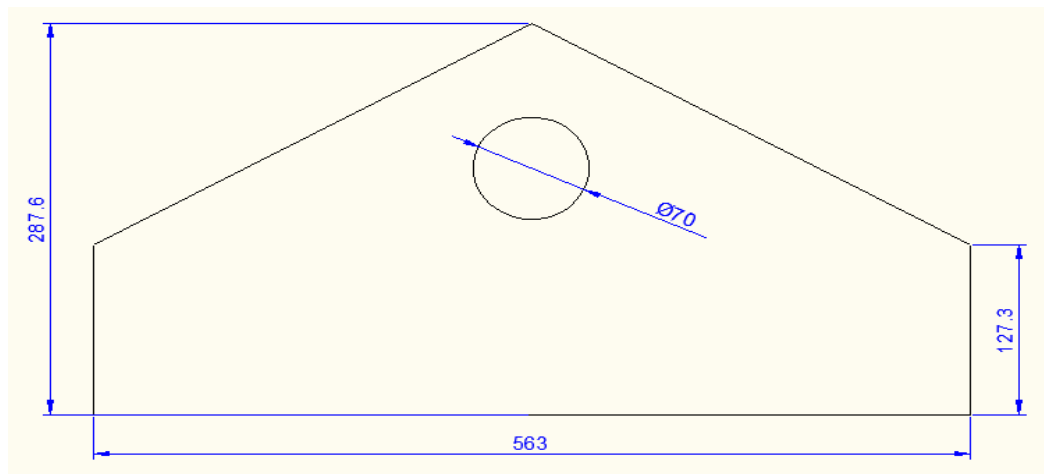


Figura 2.14 Plano de la pared norte en milímetros

ELEMENTO	AREA, m ²
Área neta de pared norte	0.113

Tabla 2.33 Área neta de pared norte

PARED SUR

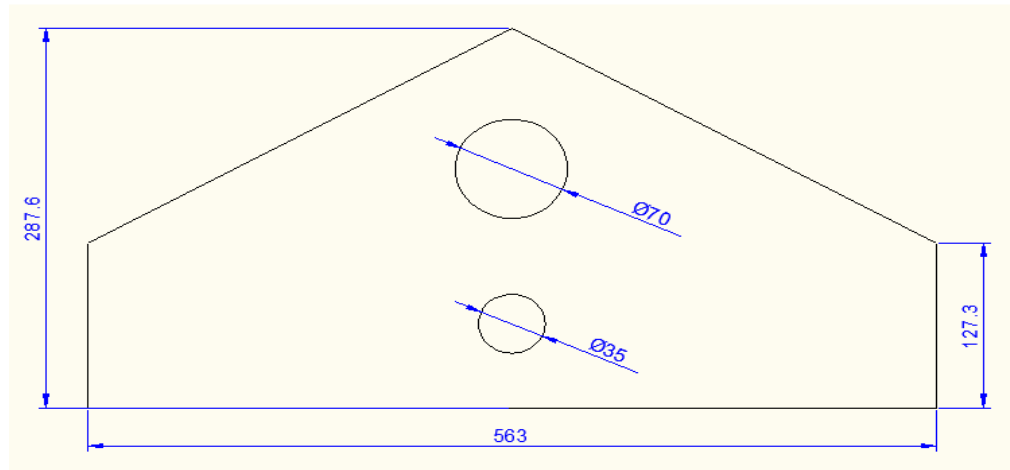


Figura 2.15 Plano de la pared sur en milímetros

ELEMENTO	AREA, m ²
Área neta de pared sur	0.111

Tabla 2.34 Área neta de pared sur

PARED ESTE

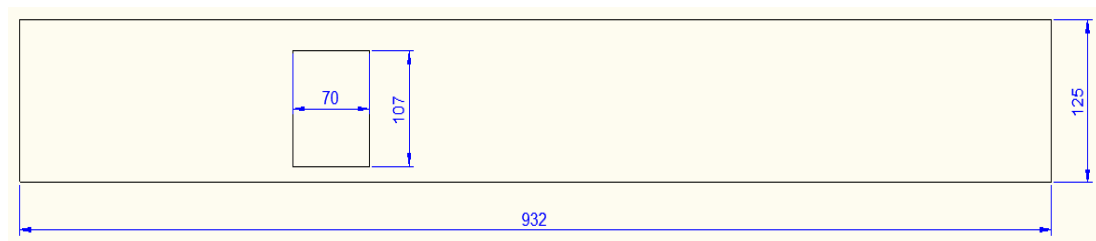


Figura 2.16 Plano de la pared este en milímetros

ELEMENTO	AREA, m ²
Área neta de pared este	0.109

Tabla 2.35 Área neta de pared este

PARED OESTE

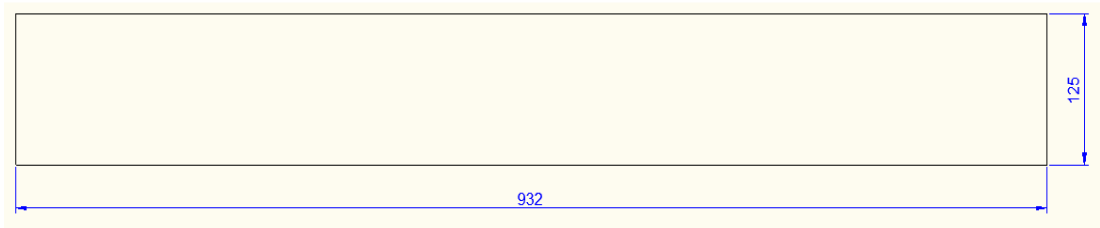


Figura 2.17 Plano de la pared oeste en milímetros

ELEMENTO	AREA, m ²
Área neta de pared oeste	0.116

Tabla 2.36 Área neta de pared oeste

2.9.2 CALCULO DEL ÁREA NETA DE LA PUERTA DEL INVERNADERO A ESCALA

Las figura 2.18 muestra las dimensiones reales de la puerta del invernadero a escala real y la tabla 2.37 muestra el resultado de los cálculos del área neta.

PUERTA

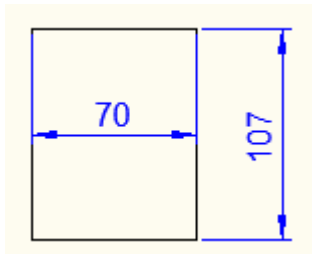


Figura 2.18 Plano de la puerta en milímetros

ELEMENTO	AREA, m ²
Puerta	0.0075

Tabla 2.37 Área neta de la puerta

2.9.3 CALCULO DEL ÁREA NETA DEL TECHO DEL INVERNADERO A ESCALA

Las figura 2.19 muestra las dimensiones reales del techo del invernadero a escala real y la tabla 2.38 muestra el resultado de los cálculos del área neta.

TECHO

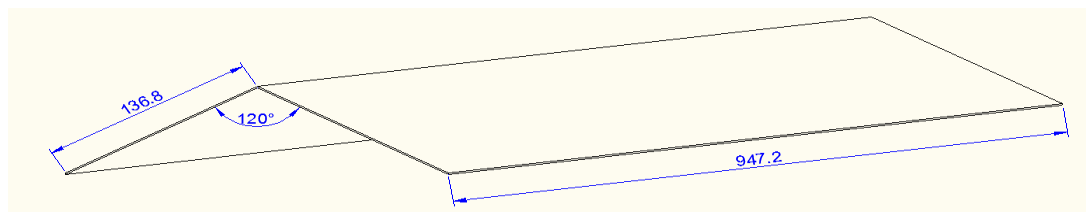


Figura 2.19 Plano del techo en milímetros

ELEMENTO	AREA, m ²
Techo	0.259

Tabla 2.38 Área neta del techo

2.9.4 CALCULO DEL ÁREA NETA DEL PISO DEL INVERNADERO A ESCALA

Las figura 2.20 muestra las dimensiones reales del piso del invernadero a escala real y la tabla 2.39 muestra el resultado de los cálculos del área neta.

PISO

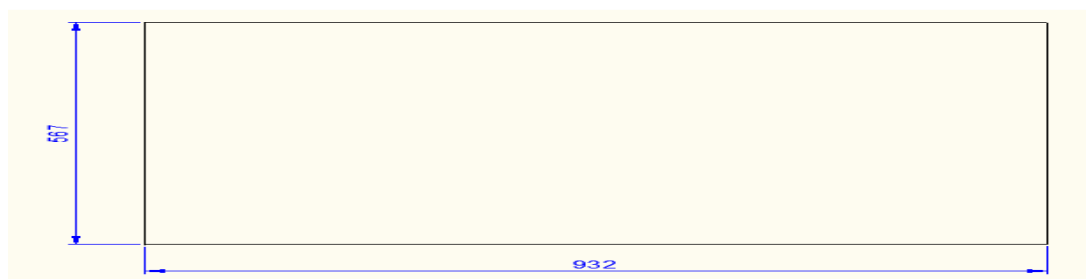


Figura 2.20 Plano del piso en milímetros

ELEMENTO	AREA, m ²
Piso	0.528

Tabla 2.39 Área neta del piso

2.10 CALCULO DE CARGAS TERMODINAMICAS EXTERNAS MÁXIMAS EN EL DÍA DEL INVERNADERO A ESCALA

Es el cálculo de flujo de calor que pasa a través de los elementos que conforman el invernadero, tomando en cuenta las condiciones externas máximas en el día; obtenidas por los anuarios meteorológicos del INAMHI.

2.10.1 CONDUCCIÓN A TRAVÉS DE LAS PAREDES DEL INVERNADERO A ESCALA

Es el flujo de calor que pasa a través de las paredes, viene dada por la ecuación 2.1 ya explicada en la sección 2.5.2.1 y se muestra en la figura 2.21.

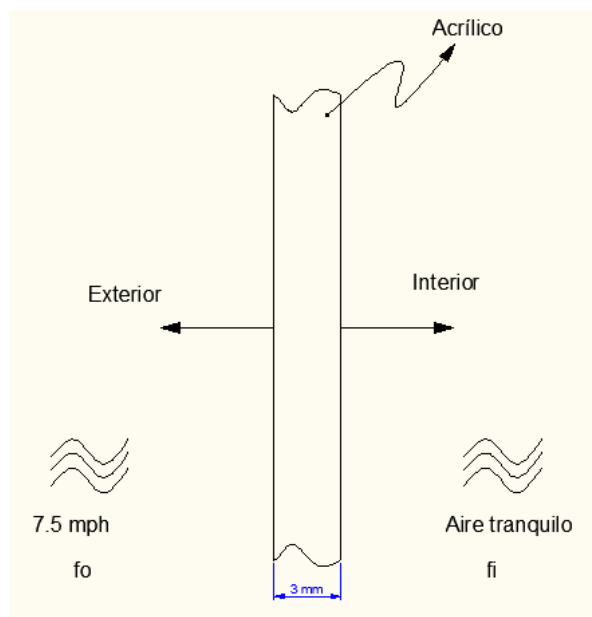


Figura 2.21 Sección transversal de la pared

Para este caso se tiene:

- a) Determinar U, que viene dada por la ecuación 2.2 ya explicada en la sección 2.5.2.1.

Donde:

- C_v : Conductancia térmica del acrílico (K) = $1.195 \times 10^{-3} \text{ KJ/ (s.m}^2 \cdot ^\circ\text{K)}$

Para el presente diseño se tiene:

$$U = 3.969 \times 10^{-3} \text{ KJ/ (s.m}^2 \cdot ^\circ\text{K)}$$

- b) Se determina el área neta total (A) de las paredes, mostrada en la tabla 2.21, según

TABLAS 2.12, 2.13, 2.14, 2.15

ELEMENTO	AREA, m ²
AREA NETA DE PARED NORTE	0.113
AREA NETA DE PARED SUR	0.111
AREA NETA DE PARED ESTE	0.109
AREA NETA DE PARED OESTE	0.116
TOTAL	0.449

Tabla 2.40 Suma de áreas netas de las paredes

$$A_{\text{Neta Paredes}} = 0.449 \text{ m}^2$$

- c) Se determina la diferencia de temperaturas (D) según las TABLAS 2.19, 2.20

$$D = 8.5 \text{ } ^\circ\text{K}$$

Reemplazando los valores en la ecuación 2.1 ya explicada se tiene:

$$Q_{\text{Pared}} = 1.51 \times 10^{-2} \text{ KJ/s}$$

2.10.2 CONDUCCIÓN A TRAVÉS DEL TECHO DEL INVERNADERO A ESCALA

Es el flujo de calor que pasa a través del techo, viene dada por la ecuación 2.3 ya explicada en la sección 2.5.2.2 y se muestra en la figura 2.22.

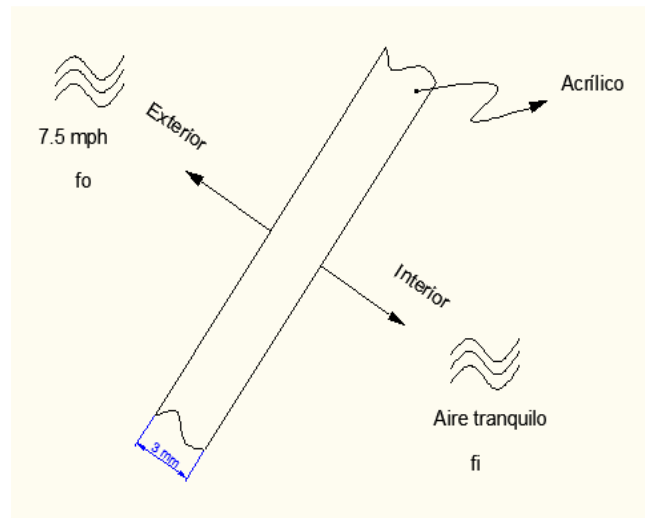


Figura 2.22 Sección transversal del techo

Para este caso se tiene:

- Determinar U , que viene dada por la ecuación 2.4 ya explicada en la sección 2.5.2.2.

Donde:

- C_v : Conductancia termina del acrílico (K) = $1.195 \times 10^{-3} \text{ KJ/ (s.m}^2 \cdot ^\circ\text{K)}$

Para el presente diseño se tiene:

$$U = 3.969 \times 10^{-3} \text{ KJ/ (s.m}^2 \cdot ^\circ\text{K)}$$

- Se determina el área neta (A) del techo según TABLA 2.38

$$A_{\text{Neta Techo}} = 0.259 \text{ m}^2$$

c) Se determina la diferencia de temperaturas (D) según las TABLAS 2.19, 2.20

$$D = 8.5 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

Reemplazando los valores en la ecuación 2.3 ya explicada se tiene:

$$Q_{\text{Techo}} = 8.737 \times 10^{-3} \text{ KJ/s}$$

2.10.3 CONDUCCIÓN A TRAVÉS DE LA PUERTA DEL INVERNADERO A ESCALA

Es el flujo de calor que pasa a través de la puerta, viene dada por la ecuación 2.5 ya explicada en la sección 2.5.2.3 y se muestra en la figura 2.23.

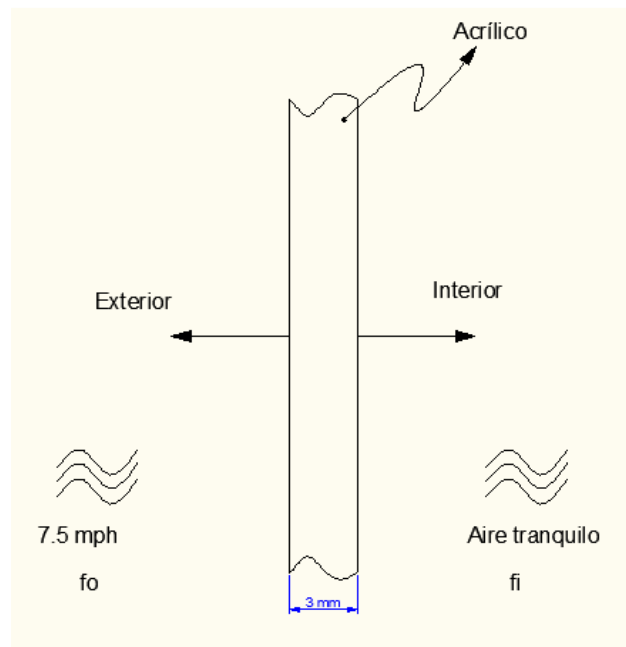


Figura 2.23 Sección transversal de la puerta

Para este caso se tiene:

a) Determinar U, que viene dada por la ecuación 2.6 ya explicada en la sección 2.5.2.3.

Donde:

- C_v : Conductancia térmica del acrílico (K) = $1.195 \times 10^{-3} \text{ KJ/ (s.m}^2 \cdot ^\circ\text{K)}$

Para el presente diseño se tiene:

$$U = 3.969 \times 10^{-3} \text{ KJ/ (s.m}^2 \cdot ^\circ\text{K)}$$

b) Se determina el área neta (A) del techo según TABLA 2.37

$$A_{\text{Neta Techo}} = 0.0075 \text{ m}^2$$

c) Se determina la diferencia de temperaturas (D) según las TABLAS 2.19, 2.20

$$D = 8.5 \text{ } ^\circ\text{K}$$

Reemplazando los valores en la ecuación 2.3 ya explicada se tiene:

$$Q_{\text{Puerta}} = 2.530 \times 10^{-4} \text{ KJ/s}$$

2.10.4 CONDUCCIÓN A TRAVÉS DEL PISO DEL INVERNADERO A ESCALA

Es el flujo de calor que pasa a través del piso, viene dada por la ecuación 2.7 ya explicada en la sección 2.5.2.4 y se muestra en la figura 2.24.

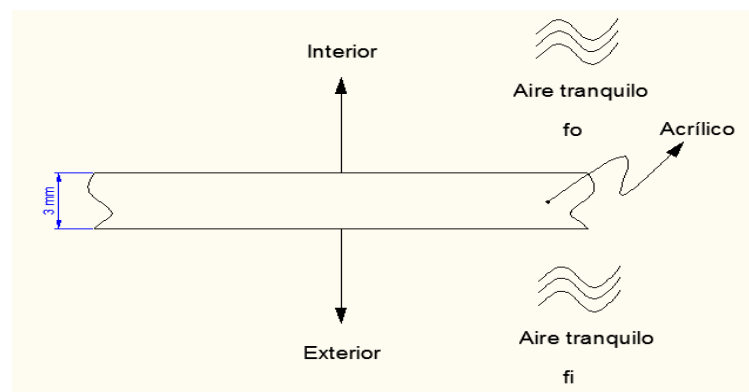


Figura 2.24 Sección transversal del piso

a) Determinar U, que viene dada por la ecuación 2.22 mostrada a continuación:

$$U(\text{Piso}) = \frac{1}{\frac{1}{f_i} + \frac{1}{C_v} + \frac{1}{f_o}} \quad (2.22)$$

Donde:

- f_i : Conductancia termina exterior (C), Btu/ (hr.ft². °F) (Anexo 2.1)
- f_o : Conductancia termina interior (C), Btu/ (hr.ft². °F) (Anexo 2.1)
- C_v : Conductancia termina del acrílico (K) = 1.195×10^{-3} KJ/ (s.m². °K)

Para el presente diseño se tiene:

$$U = 3.969 \times 10^{-3} \text{ KJ/ (s.m}^2\text{. °K)}$$

b) Se determina el área neta (A) del Piso según TABLA 2.39

$$A_{\text{Neta Piso}} = 0.528 \text{ m}^2$$

c) Se determina la diferencia de temperaturas (D) según las TABLAS 2.19, 2.20

$$D = 8.5 \text{ °K}$$

Reemplazando los valores en la ecuación 2.7 se tiene:

$$Q_{\text{Piso}} = 1.781 \times 10^{-2} \text{ KJ/s}$$

Se reemplaza un valor Q1 como calor total de transferencia de calor por paredes, piso y techo como se muestra en la ecuación 2.9 ya explicada en la sección 2.5.2.4 y se tiene:

$$Q_1 = 1.018 \times 10^{-2} \text{ KJ/s}$$

2.11 CALCULO DE CARGAS TERMODINÁMICAS INTERNAS MÁXIMAS EN EL DÍA DEL INVERNADERO A ESCALA

Es el cálculo de flujo de calor que pasa a través de los elementos que conforman el invernadero, tomando en cuenta las condiciones internas máximas en el día; obtenidas por los anuarios meteorológicos del INAMHI.

2.11.1 CAMBIOS DE AIRE DEL INVERNADERO A ESCALA

Los cambios de aire del invernadero a escala de laboratorio son tomados de los datos de los cambios de aire del invernadero a escala real y estos son reducidos a una escala de 1:16.

Para este caso se tiene:

$$Q_2 = 1.22 \times 10^{-3} \text{ KJ/s}$$

2.11.2 CARGA DEL PRODUCTO DEL INVERNADERO A ESCALA

La carga del producto del invernadero a escala de laboratorio es tomada del dato de la carga del producto del invernadero a escala real y esta es reducida a una escala de 1:16.

Para este caso se tiene:

$$Q_{\text{Producto}} = 6.21 \times 10^{-3} \text{ KJ/s}$$

2.11.3 CARGAS VARIAS DEL INVERNADERO A ESCALA

Las cargas varias involucran componentes generadores de energía, los cuales hacen que varíen las condiciones internas; estos componentes pueden ser: luces, personas aparatos y equipos industriales, etc.

2.11.3.1 CARGAS POR ALUMBRADO SIMULADO POR RESISTENCIA TUBULAR DEL INVERNADERO A ESCALA

El alumbrado es simulado por una resistencia tubular que emana un flujo de calor. Este flujo de calor va a ser controlado para mantener una temperatura constante dentro del invernadero.

Es el flujo de calor por alumbrado, viene dado por la ecuación 2.13 ya expuesta en la sección 2.5.3.3.1

Es el flujo de calor por la resistencia tubular, viene dada por la ecuación 2.23.

$$P = I \times V \quad (2.23)$$

Donde:

- P : Potencia
- I : Corriente
- V : Voltaje

Para el presente diseño se tiene:

- I = 2.2 Amperios
- V = 120 Voltios

Reemplazado en la ecuación 2.23 se tiene

$$P = 264 \text{ Watts} = Q_s$$

Reemplazando Q_s en la ecuación 2.13 se tiene:

$$Q_{\text{Alumbrado}} = 0.264 \text{ KJ/s}$$

2.11.3.2 CARGAS POR VENTILADORES DEL INVERNADERO A ESCALA

La carga por ventiladores del invernadero a escala de laboratorio es tomada del dato de la carga por ventiladores del invernadero a escala real y esta es reducida a una escala de 1:16.

Para este caso se tiene:

$$Q_{\text{Ventiladores}} = 7.75 \times 10^{-2} \text{ KJ/s}$$

2.11.3.3 CARGA SENSIBLE POR VENTILACIÓN DEL INVERNADERO A ESCALA

La carga sensible por ventilación del invernadero a escala de laboratorio es tomada del dato de la carga sensible por ventilación del invernadero a escala real y esta es reducida a una escala de 1:16.

Para este caso se tiene:

$$Q_{\text{s Ventilación}} = 4.27 \times 10^{-2} \text{ KJ/s}$$

2.11.3.4 CARGA LATENTE POR VENTILACIÓN DEL INVERNADERO A ESCALA

La carga latente por ventilación del invernadero a escala de laboratorio es tomada del dato de la carga latente por ventilación del invernadero a escala real y esta es reducida a una escala de 1:16.

Para este caso se tiene:

$$Q_{\text{L Ventilación}} = 4.37 \times 10^{-2} \text{ KJ/s}$$

2.11.3.5 CARGAS POR PERSONAS DEL INVERNADERO A ESCALA

La carga por personas del invernadero a escala de laboratorio es tomada del dato de la carga latente por personas del invernadero a escala real y esta es reducida a una escala de 1:16.

Para este caso se tiene:

$$Q_{\text{Personas}} = 8.5 \times 10^{-2} \text{ KJ/s}$$

Se reemplaza un valor Q_4 como calor total de transferencia de calor de Alumbrado, Ventiladores, Personas como se muestra en la ecuación 2.21 ya explicada en la sección 2.5.3.3.5 y se tiene:

$$Q_4 = 0.426 \text{ KJ/s}$$

2.12 RESUMEN DE CARGAS MÁXIMAS EN EL DÍA DEL INVERNADERO A ESCALA

Resumen de todas las cargas termodinámicas máximas en el día que intervienen en el invernadero se muestra en la tabla 2.41.

CARGAS EXTERNAS		
ELEMENTO	CALOR SENSIBLE KJ/s	CALOR LATENTE KJ/s
PAREDES	1.51×10^{-2}	---
TECHO	8.737×10^{-3}	---
PUERTA	2.530×10^{-4}	---
PISO	1.781×10^{-2}	---
SUB TOTAL	4.19×10^{-2}	---

CARGAS INTERNAS		
ELEMENTO	CALOR SENSIBLE KJ/s	CALOR LATENTE KJ/s
CAMBIO DE AIRE	1.22×10^{-3}	---
PRODUCTO	6.21×10^{-3}	---
ALUMBRADO	0.264	---
VENTILADORES	7.75×10^{-2}	---
SENSIBLE POR VENTILACIÓN	4.27×10^{-2}	---
LATENTE POR VENTILACIÓN	---	4.37×10^{-2}
PERSONAS	8.5×10^{-2}	---
SUB TOTAL	0.476	4.37×10^{-2}
TOTAL	0.517	4.37×10^{-2}

Tabla 2.41 Resumen de cargas máximas en el día del invernadero a escala

2.13 CALCULO DE CARGAS TERMODINÁMICAS EXTERNAS MÍNIMAS EN LA NOCHE DEL INVERNADERO A ESCALA

Es el cálculo de flujo de calor que pasa a través de los elementos que conforman el invernadero, tomando en cuenta las condiciones externas mínimas en la noche; obtenidas por los anuarios meteorológicos del INAMHI.

2.13.1 CONDUCCIÓN A TRAVÉS DE LAS PAREDES DEL INVERNADERO A ESCALA

Es el flujo de calor que pasa a través de las paredes, viene dada por la ecuación 2.1 y se muestra en la figura 2.21 ya expuestas y explicadas en las secciones 2.5.2.1 y 2.10.1 respectivamente, por lo tanto se tiene directamente los siguientes resultados

- Determinar U , que viene dada por la ecuación 2.2 ya explicada en la sección 2.5.2.1.

Donde:

- C_v : Conductancia termica del acrílico (K) = $1.195 \times 10^{-3} \text{ KJ/ (s.m}^2\text{.}^0\text{K)}$

Para el presente diseño se tiene:

$$U = 3.969 \times 10^{-3} \text{ KJ/ (s.m}^2\text{.}^0\text{K)}$$

b) Se determina el área neta (A) de las paredes según la TABLAS 2.40

$$A_{\text{Neta Paredes}} = 0.449 \text{ m}^2$$

c) Se determina la diferencia de temperaturas (D) según las TABLAS 2.19, 2.20

$$D = 21.7 ^\circ\text{K}$$

Reemplazando los valores en la ecuación 2.1 ya explicada, se tiene:

$$Q_{\text{Pared}} = 1.021 \times 10^{-2} \text{ KJ/s}$$

2.13.2 CONDUCCIÓN A TRAVÉS DEL TECHO DEL INVERNADERO DE ESCALA

Es el flujo de calor que pasa a través del techo, viene dada por la ecuación 2.3 y se muestra en la figura 2.22 ya expuestas y explicadas en las secciones 2.5.2.2 y 2.10.2 respectivamente, por lo tanto se tiene directamente los siguientes resultados:

a) Determinar U, que viene dada por la ecuación 2.4 ya explicada en la sección 2.5.2.2.

Donde:

- C_v : Conductancia termica del acrílico (K) = $1.195 \times 10^{-3} \text{ KJ/ (s.m}^2\text{.}^0\text{K)}$

Para el presente diseño se tiene:

$$U = 3.969 \times 10^{-3} \text{ KJ/ (s.m}^2\text{.}^0\text{K)}$$

b) Se determina el área neta (A) del techo según TABLA 2.38

$$A_{\text{Neta Techo}} = 0.259 \text{ m}^2$$

a) Se determina la diferencia de temperaturas (D) según las TABLAS 2.19, 2.20

$$D = 21.7 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

Reemplazando los valores en la ecuación 2.3 ya explicada se tiene:

$$Q_{\text{Techo}} = 2.230 \times 10^{-2} \text{ KJ/s}$$

2.13.3 CONDUCCIÓN A TRAVÉS DE LA PUERTA DEL INVERNADERO DE ESCALA

Es el flujo de calor que pasa a través del techo, viene dada por la ecuación 2.5 y se muestra en la figura 2.23 ya expuestas y explicadas en las secciones 2.5.2.3 y 2.10.3 respectivamente, por lo tanto se tiene directamente los siguientes resultados:

a) Determinar U, que viene dada por la ecuación 2.6 ya explicada en la sección 2.5.2.3.

Donde:

- C_v : Conductancia termina del acrílico (K) = $1.195 \times 10^{-3} \text{ KJ/ (s.m}^2.\text{ }^{\circ}\text{K)}$

Para el presente diseño se tiene:

$$U = 3.969 \times 10^{-3} \text{ KJ/ (s.m}^2.\text{ }^{\circ}\text{K)}$$

b) Se determina el área neta (A) del techo según TABLA 2.37

$$A_{\text{Neta Techo}} = 0.0075 \text{ m}^2$$

c) Se determina la diferencia de temperaturas (D) según las TABLAS 2.19, 2.20

$$D = 21.7 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

Reemplazando los valores en la ecuación 2.5 ya explicada se tiene:

$$Q_{\text{Puerta}} = 6.459 \times 10^{-4} \text{ KJ/s}$$

2.13.4 CONDUCCIÓN A TRAVÉS DEL PISO DEL INVERNADERO DE ESCALA

Es el flujo de calor que pasa a través del piso, viene dada por la ecuación 2.7 y se muestra en la figura 2.24 ya expuestas y explicadas en las secciones 2.5.2.4 y 2.10.4 respectivamente, por lo tanto se tiene directamente los siguientes resultados:

a) Determinar U, que viene dada por la ecuación 2.22 ya explicada en la sección 2.5.10.4.

Donde:

- C_v : Conductancia termina del acrílico (K) = $1.195 \times 10^{-3} \text{ KJ/ (s.m}^2 \cdot ^{\circ}\text{K)}$

Para el presente diseño se tiene:

$$U = 3.969 \times 10^{-3} \text{ KJ/ (s.m}^2 \cdot ^{\circ}\text{K)}$$

b) Se determina el área neta (A) del Piso según TABLA 2.39

$$A_{\text{Neta Piso}} = 0.528 \text{ m}^2$$

c) Se determina la diferencia de temperaturas (D) según las TABLAS 2.19, 2.20

$$D = 21.7 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

Reemplazando los valores en la ecuación 2.7 ya explicada se tiene:

$$Q_{\text{Piso}} = 4.547 \times 10^{-2} \text{ KJ/s}$$

Se reemplaza un valor Q_1 como calor total de transferencia de calor por paredes, piso y techo como se muestra en la ecuación 2.9 ya explicada en la sección 2.5.2.4 y se tiene:

$$Q_1 = 2.216 \times 10^{-2} \text{ KJ/s}$$

2.14 CALCULO DE CARGAS TERMODINÁMICAS INTERNAS MÍNIMAS EN LA NOCHE DEL INVERNADERO A ESCALA

Es el cálculo de flujo de calor que pasa a través de los elementos que conforman el invernadero, tomando en cuenta las condiciones internas mínimas en la noche; obtenidas por los anuarios meteorológicos del INAMHI.

2.14.1 CAMBIOS DE AIRE DEL INVERNADERO A ESCALA

Los cambios de aire del invernadero a escala de laboratorio son tomados de los datos de los cambios de aire del invernadero a escala real y estos son reducidos a una escala de 1:16.

Para este caso se tiene:

$$Q_2 = 1.22 \times 10^{-3} \text{ KJ/s}$$

2.14.2 CARGA DEL PRODUCTO DEL INVERNADERO A ESCALA

La carga del producto del invernadero a escala de laboratorio es tomada del dato de la carga del producto del invernadero a escala real y esta es reducida a una escala de 1:16.

Para este caso se tiene:

$$Q_{\text{Producto}} = 6.21 \times 10^{-3} \text{ KJ/s}$$

2.14.3 CARGAS VARIAS DEL INVERNADERO A ESCALA

Las cargas varias involucran componentes generadores de energía, los cuales hacen que varíen las condiciones internas; estos componentes pueden ser: luces, personas aparatos y equipos industriales, etc.

2.14.3.1 CARGAS POR ALUMBRADO SIMULADO POR RESISTENCIA TUBULAR DEL INVERNADERO A ESCALA

Es el flujo de calor por la resistencia tubular, viene dada por la ecuación 2.23 ya expuesta en la sección 2.11.3.1

Para este caso se tiene:

$$Q_{\text{Alumbrado}} = 0.264 \text{ KJ/s}$$

2.14.3.2 CARGAS POR VENTILADORES DEL INVERNADERO A ESCALA

La carga por ventiladores del invernadero a escala de laboratorio es tomada del dato de la carga por ventiladores del invernadero a escala real y esta es reducida a una escala de 1:16.

Para este caso se tiene:

$$Q_{\text{Ventiladores}} = 7.75 \times 10^{-2} \text{ KJ/s}$$

2.14.3.3 CARGA SENSIBLE POR VENTILACIÓN DEL INVERNADERO A ESCALA

La carga sensible por ventilación del invernadero a escala de laboratorio es tomada del dato de la carga sensible por ventilación del invernadero a escala real y esta es reducida a una escala de 1:16.

Para este caso se tiene:

$$Q_{s \text{ Ventilación}} = 4.27 \times 10^{-2} \text{ KJ/s}$$

2.14.3.4 CARGA LATENTE POR VENTILACIÓN DEL INVERNADERO A ESCALA

La carga latente por ventilación del invernadero a escala de laboratorio es tomada del dato de la carga latente por ventilación del invernadero a escala real y esta es reducida a una escala de 1:16.

Para este caso se tiene:

$$Q_{L \text{ Ventilación}} = 4.37 \times 10^{-2} \text{ KJ/s}$$

2.14.3.5 CARGAS POR PERSONAS DEL INVERNADERO A ESCALA

La carga por personas del invernadero a escala de laboratorio es tomada del dato de la carga latente por personas del invernadero a escala real y esta es reducida a una escala de 1:16.

Para este caso se tiene:

$$Q_{\text{Personas}} = 1.2 \times 10^{-3} \text{ KJ/s}$$

Se reemplaza un valor Q_4 como calor total de transferencia de calor de Alumbrado, Ventiladores, Personas como se muestra en la ecuación 2.21 ya explicada:

$$Q_4 = 0.342 \text{ KJ/s}$$

2.15 RESUMEN DE CARGAS MÁXIMAS EN EL DÍA DEL INVERNADERO A ESCALA

Resumen de todas las cargas termodinámicas mínimas en la noche que intervienen en el invernadero se muestra en la tabla 2.42.

CARGAS EXTERNAS		
ELEMENTO	CALOR SENSIBLE KJ/s	CALOR LATENTE KJ/s
PAREDES	3.867×10^{-2}	---
TECHO	2.230×10^{-2}	---
PUERTA	6.459×10^{-4}	---
PISO	4.547×10^{-2}	---
SUB TOTAL	0.107	---

CARGAS INTERNAS		
ELEMENTO	CALOR SENSIBLE KJ/s	CALOR LATENTE KJ/s
CAMBIOS DE AIRE	1.22×10^{-3}	---
PRODUCTO	6.21×10^{-3}	---
ALUMBRADO	0.264	---
VENTILADORES	7.75×10^{-2}	---
SENSIBLE POR VENTILACIÓN	4.27×10^{-2}	---
LATENTE POR VENTILACIÓN	---	4.37×10^{-2}
PERSONAS	1.2×10^{-3}	---
SUB TOTAL	0.392	4.37×10^{-2}

TOTAL	0.499	4.37×10^{-2}
--------------	--------------	---

Tabla 2.42 Resumen de cargas mínimas en la noche del invernadero a escala

2.16 CUADROS COMPARATIVOS ENTRE LAS CARGAS DEL INVERNADERO DE ESCALA REAL CON EL INVERNADERO A ESCALA

Son cuadros que comparan los valores de las cargas del invernadero de escala real con el invernadero a escala de laboratorio.

2.16.1 CUADROS COMPARATIVOS DE CARGAS MÁXIMAS EN EL DÍA

Los cuadros comparativos de cargas máximas en el día se muestran en la tabla 2.43.

CARGAS EXTERNAS DE CALOR SENSIBLE, KJ/s		
ELEMENTO	ESCALA REAL	ESCALA DE LABORATORIO
PAREDES	4×10^{-3}	1.51×10^{-2}
TECHO	5.346×10^{-3}	8.737×10^{-3}
PUERTA	2.442×10^{-5}	2.530×10^{-4}
PISO	8.214×10^{-4}	1.781×10^{-2}

CARGAS INTERNAS DE CALOR SENSIBLE, KJ/s		
ELEMENTO	ESCALA REAL	ESCALA DE LABORATORIO
CAMBIOS DE AIRE	1.96×10^{-2}	1.22×10^{-3}
PRODUCTO	9.94×10^{-2}	6.21×10^{-3}
ALUMBRADO	4.2	0.264
VENTILADORES	1.24	7.75×10^{-2}
SENSIBLE POR VENTILACIÓN	0.684	4.27×10^{-2}
PERSONAS	1.36	8.5×10^{-2}

CARGAS INTERNAS DE CALOR LATENTE, KJ/s		
ELEMENTO	ESCALA REAL	ESCALA DE LABORATORIO
LATENTE POR VENTILACIÓN	0.70	4.37×10^{-2}

Tabla 2.43 Cuadros comparativos de cargas máximas en el día

2.16.2 CUADROS COMPARATIVOS DE CARGAS MÍNIMAS EN LA NOCHE

Los cuadros comparativos de cargas mínimas en la noche se muestran en la tabla 2.44.

CARGAS EXTERNAS DE CALOR SENSIBLE, KJ/s		
ELEMENTO	ESCALA REAL	ESCALA DE LABORATORIO
PAREDES	1.021×10^{-2}	3.867×10^{-2}
TECHO	1.364×10^{-2}	2.230×10^{-2}
PUERTA	6.236×10^{-5}	6.459×10^{-4}
PISO	2.252×10^{-3}	4.547×10^{-2}

CARGAS INTERNAS DE CALOR SENSIBLE, KJ/s		
ELEMENTO	ESCALA REAL	ESCALA DE LABORATORIO
CAMBIOS DE AIRE	1.96×10^{-2}	1.22×10^{-3}
PRODUCTO	9.94×10^{-2}	6.21×10^{-3}
ALUMBRADO	4.2	0.264
VENTILADORES	1.24	7.75×10^{-2}
SENSIBLE POR VENTILACIÓN	0.349	4.27×10^{-2}
PERSONAS	1.92×10^{-2}	1.2×10^{-3}

CARGAS INTERNAS DE CALOR LATENTE, KJ/s		
ELEMENTO	ESCALA REAL	ESCALA DE LABORATORIO
LATENTE POR VENTILACIÓN	0.775	4.37×10^{-2}

Tabla 2.44 Cuadros comparativos de cargas mínimas en la noche

2.17 ESTUDIO PSICOMÉTRICO DEL AIRE DEL INVERNADERO REAL Y A ESCALA

Es el estudio de la mezcla de aire y agua que contiene un ambiente específico ya expuesto en la sección 1.8.

2.17.1 PUNTO DE ROCIO

Tomamos en cuenta la ecuación (1.12) ya explicada en la sección 1.8.5 donde la humedad relativa es una de las condiciones ideales internas deseadas en el invernadero Tabla (2.20)

Se determina por la ecuación 2.24:

$$\text{Presión parcial real} = \frac{HR \times \text{Presión parcial de saturación}}{100} \quad (2.24)$$

Donde

- Presión parcial real : Presión a temperatura de Punto de Rocío
- Presión parcial de saturación : Presión a temperatura de BS
- HR : Humedad relativa
- HR = 65%

Para este caso se tiene:

$$\text{Presión parcial de saturación a } 298 \text{ °K (77°F) (25°C)} = 0.4593 \text{ lb/plg}^2 \quad (\text{Anexo 2.5})$$

Reemplazando en la ecuación (2.24) se tiene:

$$\text{Presión parcial real} = 0.298545 \text{ lb/plg}^2$$

Tomando al Presión parcial real e interpolando en el (Anexo 2.5) se tiene:

$$PR = 290.95 \text{ °K (64.32 °F) (17.95°C)}$$

2.17.2 HUMEDAD ABSOLUTA

Tomamos en cuenta la ecuación (1.11) ya explicada en la sección 1.8.4 con punto de rocío = 290.95°K (64.32 °F) (17.95°C) e interpolando en el (Anexo 2.5) se tiene:

Volumen Específico del vapor de agua saturado = 1044.7 pie³/lb

Reemplazando en la ecuación (1.11) se tiene:

Humedad Absoluta = 25.54 Kg/m³ (0.000957 lb/pie³)

2.17.3 HUMEDAD RELATIVA

Humedad relativa es una de las condiciones ideales internas deseadas en el invernadero Tabla (2.20) para este caso se tiene:

Humedad Relativa = 65%

2.17.4 RELACIÓN DE HUMEDAD

La Relación de Humedad la cual se toma como referencia la Temperatura de Bulbo Seco, T_{db} (T_{bs}) 298 °K (77°F) (25°C) y Humedad Relativa (65%) de las Condiciones Climáticas Internas deseadas en el invernadero (Tabla 2.19) se la determina en la Carta Psicrométrica del aire (Anexo 2.8)

Para este caso se tiene:

w = 0.013 lb/lb

2.17.5 CONTENIDO DE CALOR O ENTALPIA DEL AIRE

Es la cantidad de aire que tiene calor sensible y calor latente ya explicado en la sección 1.8.9.

2.17.5.1 CALOR SENSIBLE

Tomamos en cuenta la ecuación (1.18) ya explicada en la sección 1.8.9.1 donde la Temperatura de Bulbo Seco es una de las condiciones ideales internas deseadas en el invernadero Tabla (2.20)

Para este caso se tiene:

$$m = 12764.35 \text{ lb de aire seco}$$

Reemplazando en la ecuación (1.18) se tiene:

$$Q_S = 69.13 \text{ KJ/s}$$

2.17.5.2 CALOR LATENTE

Tomamos en cuenta la ecuación (1.30) considerando que para este caso no tenemos una temperatura inicial ni temperatura final sino que tenemos una sola temperatura constante de Bulbo Seco que es una de las condiciones ideales internas deseadas en el invernadero Tabla (2.20)

Para este caso se tiene:

$$m = 12764.35 \text{ lb de aire seco}$$

$$w = 0.013 \text{ lb/lb}$$

Tomamos en cuenta la ecuación (1.25) donde la Temperatura de Bulbo Seco es una de las condiciones ideales internas deseadas en el invernadero Tabla (2.20)

Para este caso se tiene:

$$h_w = 1095.45 \text{ BTU/lb}$$

Reemplazando en la ecuación (1.25) se tiene:

$$Q_L = 53.27 \text{ KJ/s}$$

2.17.5.3 CALOR TOTAL DEL AIRE

La carga total del aire viene dada por la ecuación 2.25

$$Q_T = Q_S + Q_L \quad (2.25)$$

Reemplazando Q_S y Q_L en la ecuación (2.25) se tiene:

$$Q_T = 122.4 \text{ KJ/s}$$

2.17.6 TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO COMO INDICE DE CALOR

Debido que para una combinación cualquiera de temperatura de BS y PR, la temperatura del BH del aire puede tener solo un valor, se deduce que la temperatura del BH es un índice del calor total del aire (entalpia).

Aun cuando solo un valor de temperatura BH satisface una combinación dada de temperaturas BS y PR, existen muchas combinaciones de temperaturas de BS y PR que tienen la misma temperatura de BH (Anexo 2.6). Esto en efecto que diferentes muestras de aire teniendo la misma temperatura de BH tiene la misma entalpia, aun cuando la relación de calor latente y sensible pueda ser distinta para las diferentes muestras.

Para este caso se tiene:

Temperatura Bulbo Húmedo, $T_{wb} (T_{bh}) = 288.5 \text{ (60°F) (15.5°C)}$

2.17.7 AIRE ESTANDAR

Tomamos en cuenta la ecuación (1.29) ya explicada en la sección 1.8.11 considerando que para este caso no tenemos un Volumen de aire actual de 15575.81 pie^3 , temperatura de aire estándar de 530°R y una temperatura de aire actual de 298 °K (77°F) (25°C)

Tomamos en cuenta la ecuación (1.2) se tiene:

Temperatura de aire actual = 298 °K (537°R)

Reemplazando en la ecuación (1.29) se tiene:

$$V_s = 435.30 \text{ m}^3 (15372.77 \text{ pie}^3)$$

CAPÍTULO 3

AUTOMATIZACIÓN DEL INVERNADERO A ESCALA

En este capítulo se trata de la automatización de la climatización del invernadero a escala, así como la descripción del diseño de la maqueta y elementos utilizados para la tarjeta de adquisición de datos, los mismos que permiten la lectura de las variables (Temperatura y Humedad), su visualización y comunicación USB con el computador. Entre estos elementos se destaca el microcontrolador PIC18F2550 de la Microchip, un dispositivo que se encargará del control de los ventiladores, módulo sensor, resistencia tubular y vaporizador.

3.1 PROCESO A AUTOMATIZAR

En la actualidad existe una gran variedad de cultivos desarrollados en invernaderos, los mismos que presenta como principal dificultad el control de su ambiente ya que en su mayor parte se realiza de forma manual incrementando así el costo de producción, básicamente por la mano de obra requerida.

En el ambiente de un invernadero, que resulta ser el proceso a automatizar, existen muchas variables importantes que necesitan ser monitorizadas y controladas. Este proyecto tiene como objetivo realizar el control de temperatura y humedad de un invernadero a escala con la utilización de un microcontrolador y la visualización de los eventos ocurridos a través de una interface gráfica en el computador.

3.2 PARÁMETROS DE CONTROL

El diseño se basará en el control de la *Temperatura Ambiente y Humedad Relativa* del Invernadero. Para regularla, se cuenta como entrada un Módulo Sensor de Temperatura y Humedad, el **DC-SS500**, que está ubicado en el centro geométrico del invernadero y con una serie de actuadores que consisten en un Ventilador Refrigerante, una Resistencia Tubular, un Ventilador Calefactor y un Vaporizador. El sensor mide las variables, las mismas que son enviadas al microcontrolador a través de una interfaz UART (*Transmisor-Receptor Universal Asíncrono*). Estos datos son

procesados en el microcontrolador para desplegar dicha información en la pantalla de un LCD (*Visualizador de Cristal Líquido*).

Para la automatización del invernadero se optó por el control tipo ON/OFF mostrado en la figura 3.1, debido a que se maneja una carga como el vaporizador cuya frecuencia de trabajo es baja, y al manejarlo con un controlador PID, éste aplicaría cambios muy rápidos en la entrada, reduciendo su vida útil.

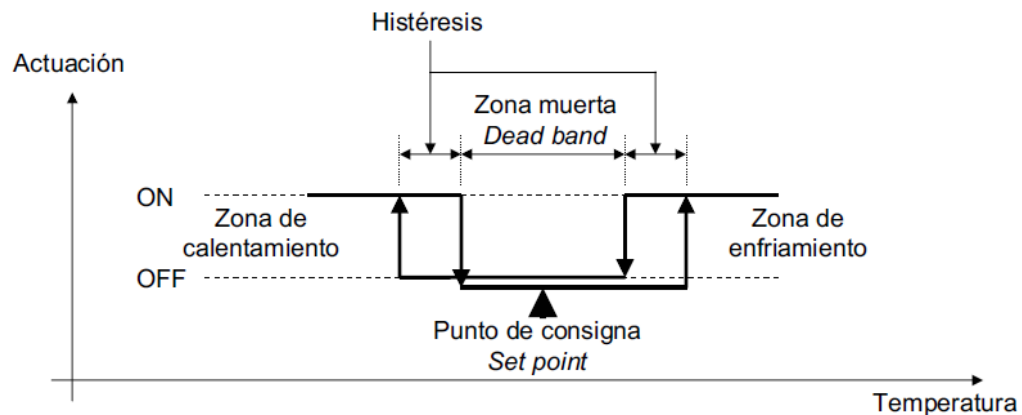


Figura 3.1 Control tipo ON-OFF

En base a la investigación realizada en el capítulo anterior se determinó que la temperatura ideal para el cultivo de rosas rojas para producción media en invernadero es de 298°K (25° C), el cual tendrá un lazo de histéresis de $\pm 2^{\circ}$ C mostrado en la figura 3.2. De ahí que el rango de temperatura utilizado para la etapa de control es de 23° C a 27° C. Y una humedad relativa del 65% RH, el cual tendrá un rango de histéresis de $\pm 10\%$ RH mostrado en la figura 3.3

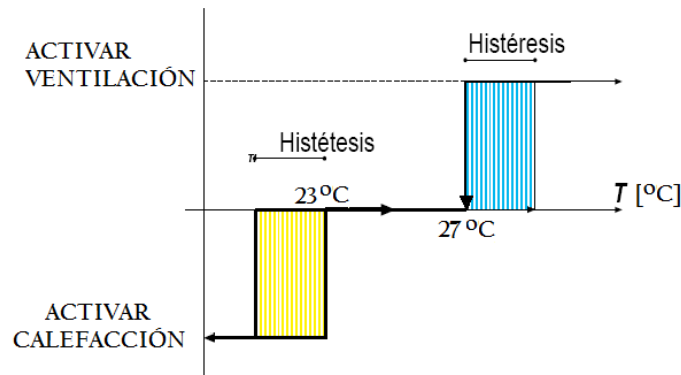


Figura 3.2 Control de temperatura ambiente con lazo de histéresis

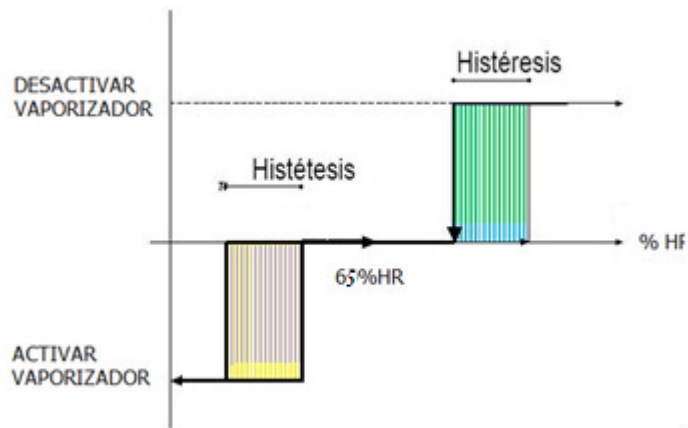


Figura 3.3 Control de humedad relativa con lazo de histéresis

En función de la dinámica de las variables se pueden presentar diferentes combinaciones, las mismas que se muestran en la tabla 3.1

COMB.	TEMPERATURA	HUMEDAD RELATIVA
1	BAJA	BAJA
2	BAJA	ALTA
3	ALTA	BAJA
4	ALTA	ALTA

Tabla 3.1 Combinación de las variables a controlar

Para el desarrollo del control se establecen rangos de trabajo de temperatura y humedad, en función a las combinaciones posibles, mostrada en la tabla 3.2. Además se designan por letras para ser utilizadas en la tabla 3.3:

No	RANGO DE CONTROL	REFERENCIA
1	Temperatura < 25°C	a
2	Temperatura =25°C	b
3	Temperatura >25°C	c
4	HR <= 64%	d
5	HR >=64% ^ HR <=66%	e
6	HR > 66°C	f

Tabla 3.2 Rangos de control en función de la temperatura y humedad

3.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Dentro del proceso las variables a controlar son la *Temperatura Ambiente* y la *Humedad Relativa* de un invernadero a escala de la maqueta descrita en el Subcapítulo 3.6. En función a estas variables se realiza el control de la planta.

A continuación se muestran algunos aspectos importantes que deben tomarse en consideración:

- El equipo manejará la calefacción a través de una resistencia tubular y un ventilador para lograr una temperatura ambiente de $25^{\circ} \text{C} \pm 2^{\circ} \text{C}$. condición necesaria para tener un entorno óptimo para el crecimiento de las rosas rojas en producción media.
- Se realizará un control ON/OFF de un vaporizador con el propósito de mantener la humedad relativa entre un rango de 55-75%HR.
- Cuando la temperatura ambiente se incremente sobre el valor deseado se activará el ventilador para tener una ventilación forzada.

El manejo de los diferentes rangos de temperatura y humedad en el control de los actuadores: resistencia tubular, vaporizador, ventiladores de suministro y extracción se resumen en la tabla 3.3.

CASO	COMB.	RESIST.	VAPORIZ.	IMPULSION	EXTRACCION
A	a-d	ON	ON	ON	OFF
B	a-e	ON	OFF	ON	OFF
C	a-f	ON	OFF	ON	ON
D	b-d	OFF	ON	ON	OFF
E	b-e	OFF	OFF	OFF	OFF
F	b-f	OFF	OFF	ON	ON
G	c-d	OFF	ON	ON	ON
H	c-e	OFF	OFF	ON	ON
I	c-f	OFF	OFF	ON	ON

Tabla 3.3 Casos de control en función de las variables

La columna de ventiladores se refiere tanto al de extracción como al de suministro.

CASO A: La temperatura y humedad se encuentran por debajo del límite inferior admisible, por lo que se deberá encender la resistencia, el vaporizador y los ventiladores moverán el aire del invernadero a una velocidad alta.

CASO B: La temperatura se encuentra por debajo del límite inferior admisible, entonces se enciende la resistencia. La humedad se encuentra dentro del rango, es decir, el vaporizador está apagado y los ventiladores moverán el aire del invernadero a una velocidad media.

CASO C: La temperatura se encuentra por debajo del límite inferior admisible, entonces se enciende la resistencia. La humedad está fuera del límite superior, por lo que se necesita que los ventiladores muevan el aire del invernadero a una velocidad alta.

CASO D: La temperatura es adecuada, la resistencia se apaga. La humedad se encuentra fuera del límite inferior, el vaporizador se enciende. Los ventiladores trabajan a velocidades altas.

CASO E: Este es el caso ideal en donde la temperatura y humedad se encuentran dentro de los límites admitidos. La temperatura es adecuada, la resistencia se apaga. La humedad es adecuada, el vaporizador se apaga. Los ventiladores se apagan.

CASO F: La temperatura es adecuada, la resistencia se apaga. La humedad se encuentra fuera del límite superior, el vaporizador se apaga. Los ventiladores trabajan a velocidades altas.

CASO G: La temperatura sobrepasa el límite superior, la resistencia se apaga. La humedad se encuentra bajo el límite inferior, el vaporizador se enciende. Los ventiladores trabajan a velocidades altas.

CASO H: La temperatura sobrepasa el límite superior, la resistencia se apaga. La humedad es la adecuada, el vaporizador se apaga. Los ventiladores trabajan a velocidades altas.

CASO I: La temperatura sobrepasa el límite superior, la resistencia se apaga. La humedad se encuentra sobre el límite superior, el vaporizador se apaga. Los ventiladores trabajan a velocidades altas.

3.4 SECUENCIA DEL PROCESO

Para mantener la temperatura ambiente controlada del invernadero se dispone de un módulo sensor digital DC-SS500, el mismo que entrega el valor de variable medida al microcontrolador a través de la interfaz UART.

El programa almacenado en el microcontrolador analiza y compara el valor obtenido con los rangos formados por el lazo de histéresis, es decir para temperaturas menores a los 23° C, entre los 23° C y 27° C y mayores a los 27° C. Con esta información se controlan las salidas tipo transistor NPN que manejan la velocidad de los ventiladores de extracción y suministro y la entrada del relé de estado sólido que maneja la resistencia. Lo mismo sucede con la humedad relativa y el vaporizador.

Finalmente, la información de los eventos, encendido y apagado de los actuadores: resistencia tubular, ventilador de suministro, ventilador de extracción y vaporizador

son transmitidos serialmente al computador para poder ser visualizados en forma cronológica.

3.5 DESCRIPCIÓN DE LA MAQUETA

La maqueta consta de las siguientes partes:

- Planta física a escala 1:16 (PLANO 1; Código: 10.0482.01.00)
- Equipo de suministro
- Equipo de extracción
- Equipo eléctrico y de control

3.5.1 PLANTA FÍSICA

La construcción de la planta física se la realizó a escala 1:16 del invernadero a escala real. En donde, el techo, piso, paredes y puerta fueron construidos con acrílico de 3mm de espesor como se muestra en la figura 3.4



Figura 3.4 Planta física del invernadero a escala

3.5.2 EQUIPO DE SUMINISTRO

Para controlar el flujo de aire caliente del ambiente se ha hecho uso de un ventilador de tipo PC de 12V. Instalado en la pared sur del invernadero. Su control se ha decidido realizar con PWM (Modulación de Ancho de Pulso) dado que el propio Microcontrolador lleva incluidos dos módulos para este fin y el control en analógico hubiera implicado utilizar electrónica extra sin aportar ningún tipo de ventaja tangible. La frecuencia del PWM ronda los 90KHz, realmente con ser ligeramente superior a los 20KHz donde se encuentra el límite audible por el ser humano hubiera sido suficiente para evitar molestos pitidos debidos a la conmutación. Gracias a los dos módulos de salida PWM de 9bits del Microcontrolador ha sido posible alcanzar esta frecuencia.

3.5.3 EQUIPO DE EXTRACCIÓN

Consta de un ventilador o extractor centrífugo alimentado por corriente continua. Instalados en la pared norte del invernadero, a un nivel mayor que el ventilador de entrada.

3.5.4 EQUIPO ELÉCTRICO Y DE CONTROL

El funcionamiento de la calefacción y ventilación se realiza de forma automática

El equipo eléctrico consta de los siguientes componentes:

- Una fuente rectificada de 12VDC a 3A.
- Dos ventiladores de corriente continúa.
- Una resistencia tubular.
- Un vaporizador.

Mientras que el equipo electrónico (control) consta de:

- Un microcontrolador PIC18F2550
- Un sensor de temperatura y humedad DC-SS500
- Dos relés en estado sólido para el control de la resistencia tubular y el vaporizador.

3.6 ELEMENTOS DE CONTROL

Estos elementos forman parte del circuito de control, que permite realizar la adquisición de datos por parte del computador y el manejo de actuadores para tener la temperatura ambiente y humedad relativa deseadas.

3.6.1 SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD

El sensor de temperatura y humedad mostrado en la figura 3.5 es un dispositivo integrado con tecnología CMOS de la casa *Sure Electronic*, con capacidad de medir humedad y temperatura. Presenta una salida digital mediante interfaz UART, y protocolo de transmisión RS-232, con una velocidad transmisión de 9600 baudios, 1 bit de inicio, 8bits de datos, sin bit de paridad y 1 bit de parada. Con voltaje de operación de 3,3 a 5 V_{DC}.

Para la temperatura trabaja en un rango de -15°C a 60°C, con una precisión máxima de 5°C y un tiempo de respuesta de 10 segundos.

Para la humedad relativa (%HR) trabaja en un rango de 1-99%, tiene una precisión de $\pm 10\%$ y un tiempo de respuesta de 6 segundos.

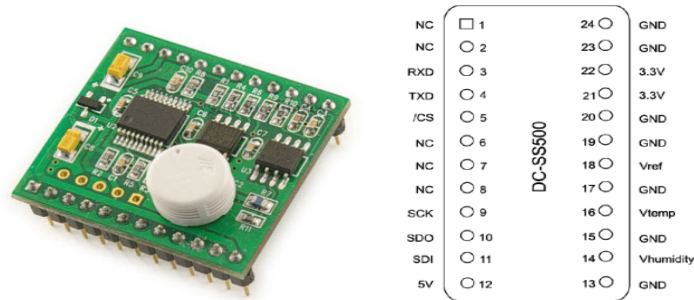


Figura 3.5 Sensor DC-SS500 y distribución de pines

En la tabla 3.4 se indica la descripción de los pines del sensor DC-SS500

PIN	ETIQUETA	DESCRIPCIÓN
1	NC	Sin conexión
2	NC	Sin conexión
3	RXD	Recepción de datos UART
4	TXD	Transmisión de datos UART
5	/CS	Habilitación SPI
6	NC	Sin conexión
7	NC	Sin conexión
8	NC	Sin conexión
9	SCK	Señal de reloj SPI
10	SDO	Datos de salida SPI
11	SDI	Datos de entrada SPI
12	5V	Entrada de alimentación 5V
13	GND	Tierra
14	Vhumidity	Salida de voltaje de humedad
15	GND	Tierra
16	Vtemp	Salida de voltaje de temperatura
17	GND	Tierra
18	Vref	Salida de voltaje de referencia
19	GND	Tierra
20	GND	Tierra
21	3.3 V	Entrada de alimentación de 3,3V
22	3.3 V	Entrada de alimentación de 3,3V
23	GND	Tierra
24	GND	Tierra

Tabla 3.4 Descripción de pines del DC-SS500

Este sensor se puede alimentar con un rango de tensiones comprendido entre 3,3 a 5.5 V_{DC}, es necesario colocar un condensador de desacoplo (100nF) lo más cercano a los pines de alimentación (VCC, GND).

Algunas de sus características del sensor se indican en las Tablas 3.5

PARÁMETRO	MÍNIMO	TÍPICO	MÁXIMO
Rango de Operación [°C]	-15		60
Rango de Operación [%RH]	1		99
Voltaje de Alimentación [VDC]	3,3	5,0	5,5
Corriente de Alimentación [mA]	-	-	8

Tabla 3.5 Características del sensor de humedad y temperatura

La conexión del sensor con el microcontrolador se la hace a través de un conector IDC como se ilustra en la siguiente figura:

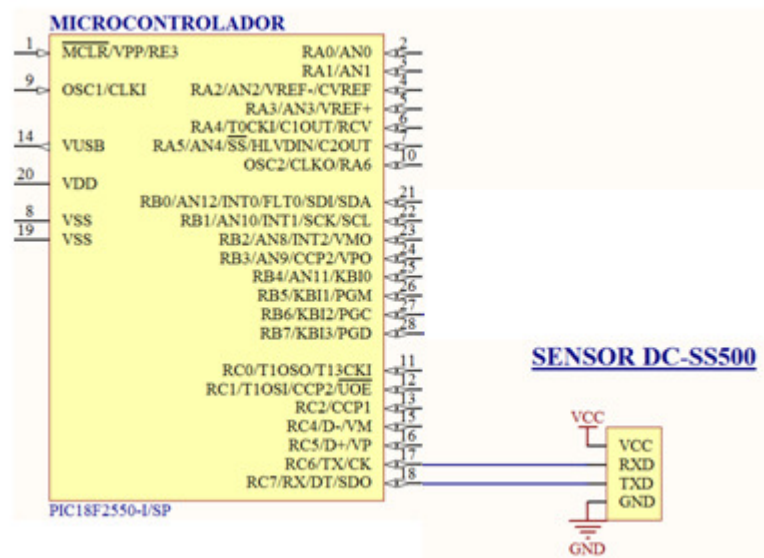


Figura 3.6 Conexión del sensor con el microcontrolador

3.6.2 MICROCONTROLADOR PIC18F2550

Para el diseño de los dispositivos se utilizó el microcontrolador fabricado por la MICROCHIP TM, este es el PIC18F2550 mostrado en la figura 3.7 es un microcontrolador que posee memoria de programación de tipo CMOS FLASH, es

decir que permite ser programado y borrado eléctricamente 100.000 veces, con esto se puede realizar las pruebas de funcionamiento necesarias para el dispositivo.

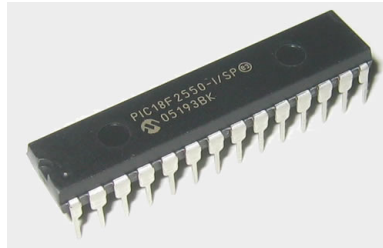


Figura 3.7 Microcontrolador PIC18F2550 de microchip

Este constituye en el cerebro del equipo, ya que maneja la activación o desactivación de los actuadores, resistencia tubular, ventilador de suministro y extracción, visualizar información en el LCD, lectura del sensor de humedad y temperatura, comunicación entre la computadora.

Cuenta con un set de 75 instrucciones, buscando con ello que la programación sea más manejable, con la opción habilitar un set de instrucciones extendidas. En cuanto a los puertos, cuenta con 4, los mismos que se pueden configurar como entrada y/o salida digitales para el manejo del LCD, salidas tipo NPN, señalización a través de leds.

En cuanto a la memoria posee 256 bytes en la EEPROM. Para la memoria tipo FLASH (reprogramable eléctricamente) se dispone de 32K, utilizado para el desarrollo del programa requerido por el dispositivo.

Cuenta con 19 fuentes de interrupción con la opción de poderlas asignar por niveles de prioridad. Tiene un módulo de comunicación compatible con USB S (Bus Serial Universal), que permite una comunicación rápida entre cualquier puerto USB del computador y el microcontrolador PIC. Un interno regulador de 3.3V está disponible para alimentar el receptor interno en aplicaciones 5VDC.

Es de fácil adquisición en el mercado y a un bajo costo. A continuación se muestra la figura 3.8 de distribución de pines del PIC18F2550:

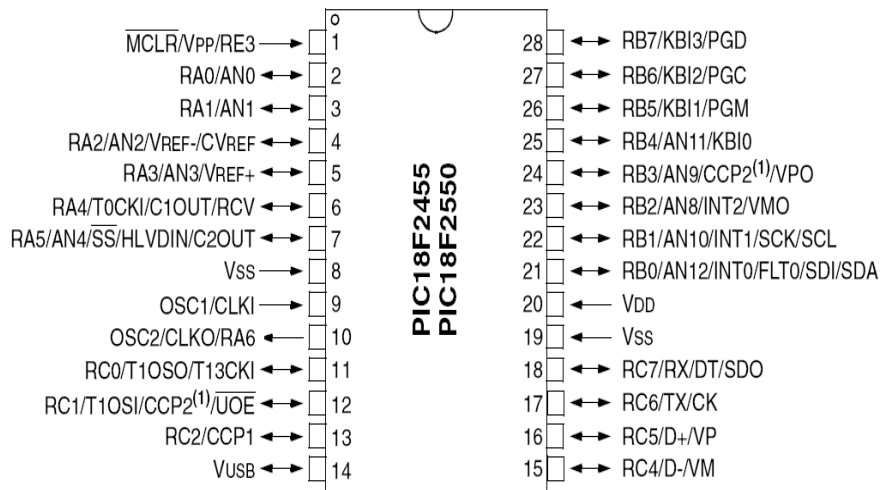


Figura 3.8 Distribución de pines del microcontrolador PIC18F2550

A continuación se realiza una descripción la función que desempeña cada uno de los pines utilizados del microcontrolador:

PUERTO A

RA0.- Bit 4 de datos del LCD.

RA1.- Bit 5 de datos del LCD.

RA2.- Bit 6 de datos del LCD.

RA3.- Bit 7 de datos del LCD.

RA4.- Selección de registro de comandos o de datos

PUERTO B

RB0.- Activación y desactivación de led resistencia tubular.

RB1.- Activación y desactivación de led del vaporizador.

RB3.- Habilitación y deshabilitación de la pantalla LCD.

RB4.- Encendido/Apagado de la resistencia tubular.

RB5.- Encendido/Apagado del vaporizador.

RB6.- Encendido/Apagado del ventilador de extracción o salida.

RB7.- Encendido/Apagado del ventilador de suministro o entrada.

PUERTO C

RC0.- Activación y desactivación de led del ventilador de salida.

RC1.- Activación y desactivación de led del ventilador de entrada.

RC4.- Data (-) para comunicación USB

RC5.- Data (+) para comunicación USB

RC6.- Transmisión de datos UART.

RC7.- Recepción de datos UART.

3.6.2.1 CIRCUITO DE RESET EXTERNO Y OSCILADOR DE 4 MHZ PARA EL PIC18F2550

Los microcontroladores de la familia PIC necesita un circuito oscilador para su funcionamiento; el PIC18F2550 es capaz de soportar hasta 20 MHz de frecuencia de operación. La conexión del oscilador del cristal recomendada por el fabricante e implementada en el diseño propone el uso de:

- Un oscilador de cristal de 4 MHz el cual define la velocidad con que se ejecutarán las instrucciones dentro del microcontrolador.
- Dos capacitores de 22 pF cada uno con el fin de filtrar el ruido y así garantizar el buen funcionamiento del oscilador y por ende del microcontrolador.

La conexión del oscilador de cristal con el microcontrolador se muestra en la figura 3.9

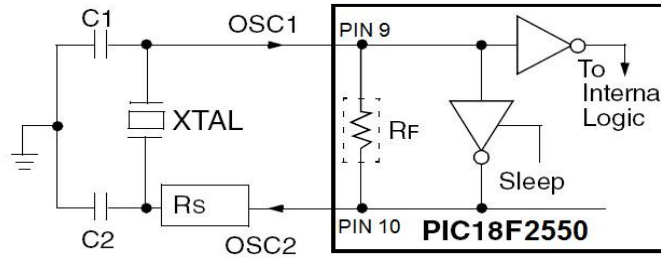


Figura 3.9 Configuración del oscilar de cristal

3.6.3 VISUALIZADOR DE CRISTAL LÍQUIDO (LCD)

La pantalla de cristal líquido LCD (Liquid Crystal Display) mostrado en la figura 3.10, es un dispositivo microcontrolado de visualización gráfico para la presentación de caracteres, símbolos o incluso dibujos (en algunos modelos), en este caso dispone de 2 filas de 16 caracteres cada una, y cada carácter dispone de una matriz de 5x7 puntos (píxeles), aunque los hay de otro número de filas y caracteres.



Figura 3.10 Pantalla LCD 16 x 2 con luz posterior

Este dispositivo está gobernado internamente por un microcontrolador Hitachi 44780 y regula todos los parámetros de presentación, este modelo es el más comúnmente usado. Las características eléctricas del LCD se detallan en la tabla 3.6

PARÁMETRO	VALOR
Voltaje de Alimentación	6,5 V _{MAX}
Corriente de Alimentación	3 Ma
Voltaje de Entrada	Min=V _{ss} , Max= V _{dd}
Temperatura de operación	50°C _{MAX}

Tabla 3.6 Especificaciones eléctricas del LCD

La distribución de pines de un módulo LCD es estándar, de ahí que el LCD de 16 caracteres x 2 líneas dispone 16 terminales de conexión cuya distribución esta mostrada en la tabla 3.7

Pin No	NOMBRE	TIPO	DESCRIPCIÓN
1	Vss	-	0V _{DC} Tierra
2	Vcc	-	Alimentación 5V
3	Vo	-	Control de contraste
4	RS	E	Selección de registro de comandos o de datos
5	R/W	E	Selección leer/escribir en la pantalla
6	E	E	Activar o desactivar la pantalla
7	DB0	E/S	Bit 0 de datos
8	DB1	E/S	Bit 1 de datos
9	DB2	E/S	Bit 2 de datos
10	DB3	E/S	Bit 3 de datos
11	DB4	E/S	Bit 4 de datos
12	DB5	E/S	Bit 5 de datos
13	DB6	E/S	Bit 6 de datos
14	DB7	E/S	Bit 7 de datos
15	A	-	Ánodo de iluminación posterior
16	K	-	Cátodo de iluminación posterior

E/S=Entrada/Salida

Tabla 3.7 Distribución de Pines de LCD

Para el presente proyecto se decidió utilizar un LCD de 2 líneas x 16 caracteres, para la visualización de la temperatura ambiente y humedad del invernadero. Debido a que este dispositivo se encuentra en un medio con iluminación baja, se requirió que el LCD tenga luz posterior, la cual estará encendida permanentemente y cuando se tenga alimentación externa (110V o 240 V).

El LCD es manejado por el microcontrolador a través del puerto A en modo de 4 bits para el envío de datos y comandos hacia el LCD; por ello los pines 7 al 10 no son usados.

3.6.4 COMUNICACIÓN

El proceso comunicativo implica la emisión de señales (sonidos, gestos, señales, etc.) con la intención de dar a conocer un mensaje. Para que la comunicación sea exitosa, el receptor debe contar con las habilidades que le permitan decodificar el mensaje e interpretarlo. El proceso luego se revierte cuando el receptor responde y se transforma en emisor (con lo que el emisor original pasa a ser el receptor del acto comunicativo).

3.6.4.1 CONECTORES USB

Existen dos tipos de conectores USB, tipo A y tipo B mostrados en la figura 3.11. Ambos conectores se comercializan en formato macho y hembra, normalmente el tipo A se utiliza como receptáculo del PC, mientras que el tipo B, se utiliza como receptáculo de la tarjeta de adquisición de datos.

El conector USB hembra tipo B utiliza un cable con cuatro terminales para conexión periférica. Dos de los cuatro terminales entregan la señal de datos diferenciales (D+ y D-); un tercer terminal entrega la alimentación de unos 5V (VBUS) aproximadamente; el último sirve como conductor de tierra o masa (GND).

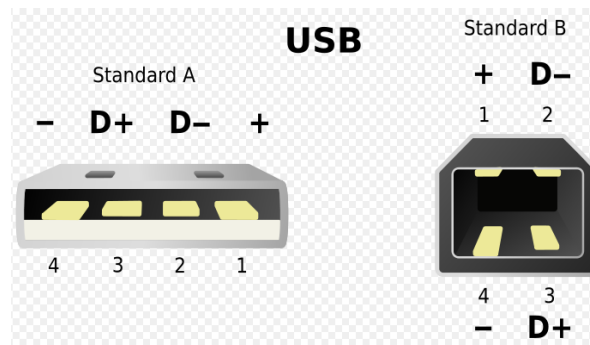


Figura 3.11 Conector USB tipo A y tipo B

Los hilos internos del cable USB están codificados de forma visible e identificada cada uno mediante colores, haciendo que su manipulación sea más práctica. Para tal efecto, se utiliza la tabla 3.8.

Pin No	COLOR DE CABLE	DESCRIPCIÓN
1	Rojo	$V_{BUS}(5\text{ VDC})$
2	Blanco	D-
3	Verde	D+
4	Negro	GND (0 V)

Tabla 3.8 Estandarización normalizada colores de hilos cable USB

La unión de los terminales del conector se realiza de la siguiente manera:

- Pin 1 (VBUS): Entrega aproximadamente 5 V de corriente continua. Al trabajar el microcontrolador con tecnología *CMOS* a 3,3 V, se debe adaptar a 3,3 V para alimentar a todos los periféricos. Para ello, el microcontrolador cuenta con un regulador lineal interno. La potencia máxima que es capaz de entregar este terminal proveniente del PC es la de la fuente de alimentación del propio PC, siendo de 500 mW.

- Pin 2 y 3 (D- D+): Ambos terminales se utilizan para establecer la comunicación entre el PC y el interfaz USB del microcontrolador. La comunicación se basa en la codificación digital de los datos del tipo NRZI (*Non Return Zero Inverted*): Comunicación digital (0 lógico es cambio de nivel y 1 lógico es no cambio de nivel).

Para limitar en corriente el interfaz interno USB del microcontrolador se intercala en serie una resistencia de 22 Ω en ambos terminales D- y D+.

- Pin 4 (GND): Terminal de referencia a masa (*ground*), correspondiente a 0 V.

Finalmente el esquema completo de conexión entre el PC y el microcontrolador se realiza tal y como expresa la figura 3.12.

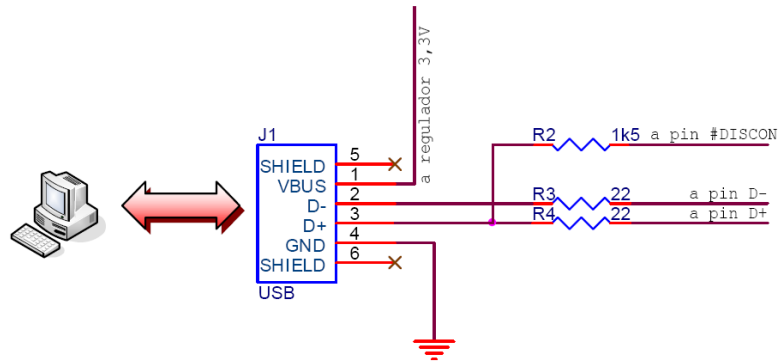


Figura 3.12 Esquema completo de conexión del conector USB tipo B

3.6.4.2 TRANSMISIÓN USB

El dispositivo USB del microcontrolador se comunica con el PC a través de los llamados *endpoints*, localizados en los periféricos. En este proyecto, se encuentran localizados en la tarjeta de control USB.

El periférico es la fuente o receptor de datos. Un *endpoint* es una porción únicamente direccionable del periférico. 4 bits definen la dirección del dispositivo *endpoint*. Los códigos también indican la dirección de la transferencia y si la transacción es una transferencia de "control". El *endpoint* está reservado para la transferencia de control, dando 15 destinaciones o fuentes bidireccionales de datos dentro de un dispositivo.

La idea de los *endpoints* conduce a un concepto importante en transmisiones del USB. Todas las transferencias ocurren a través de los conductores (*pipes*) virtuales que conectan los *endpoints* al periférico con el PC. Al establecer comunicaciones con el periférico, cada *endpoint* devuelve un *descriptor*, con una estructura de datos que diga al PC la configuración y las expectativas del *endpoint*. Los *descriptors* incluyen el tipo de la transferencia, el tamaño máximo de los paquetes de los datos, el intervalo para las transferencias de datos y en algunos casos la anchura de banda necesaria.

Existen cuatro tipos de transacciones que resuelven todas las posibles situaciones de comunicación. Son las siguientes:

- **Transferencia de control** ("*Control transfer*"): Ocurre cuando un dispositivo se conecta por primera vez. En este momento el controlador de host envía un paquete "*Token*" al periférico notificándole el número que le ha asignado.
- **Transferencia de pila de datos** ("*Bulk data transfer*"): Este proceso se utiliza para enviar gran cantidad de datos de una sola vez. Es útil para dispositivos que tienen que enviar gran cantidad de datos cada vez, como escáneres o cámaras de fotografía digital.
- **Transferencia por interrupción** ("*Interrupt data transfer*"): Se utiliza cuando se solicita enviar información por el bus en una sola dirección (de la función interrupción al *host*).
- **Transferencia de datos síncrona** ("*Isochronous data transfer*"): Se utiliza cuando es necesario enviar datos en tiempo real. Los datos son enviados con una cadencia precisa ajustada a un reloj, de modo que la transmisión es a velocidad constante.

3.6.5 SALIDAS FÍSICAS – RELÉ DE ESTADO SÓLIDO

Se llama relé de estado sólido a un circuito híbrido mostrado en la figura 3.13, normalmente compuesto por un optoacoplador que aísla la entrada, un circuito de disparo, que detecta el paso por cero de la corriente de línea y un triac o dispositivo similar que actúa de interruptor de potencia. Su nombre se debe a la similitud que presenta con un relé electromecánico; este dispositivo es usado generalmente para aplicaciones donde se presenta un uso continuo de los contactos del relé que en comparación con un relé convencional generaría un serio desgaste mecánico, además de poder conmutar altos amperajes que en el caso del relé electromecánico destruirían en poco tiempo los contactos.

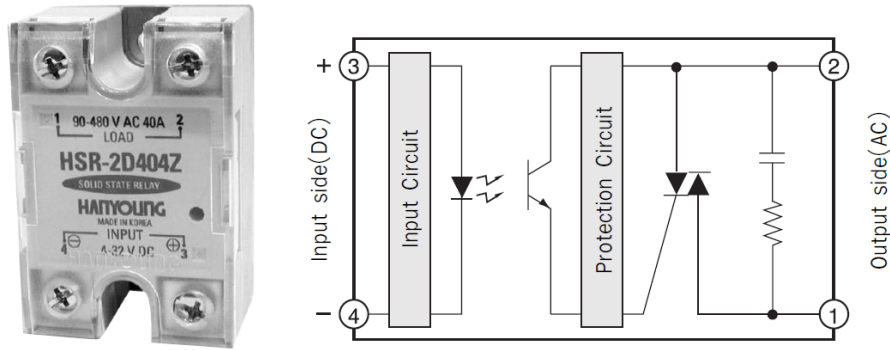


Figura 3.13 Relé de estado sólido

Un relé de estado sólido ofrece varias ventajas notables respecto a los tradicionales relés y contactores electromecánicos: son más rápidos, silenciosos, livianos y confiables, no se desgastan, son inmunes a los choques y a las vibraciones, pueden conmutar altas corrientes y altos voltajes sin producir arcos ni ionizar el aire circundante, generan muy poca interferencia, proporcionan varios kilovoltios de aislamiento entre la entrada y la salida, etc.

3.6.5.1 CIRCUITO DE AISLAMIENTO ENTRE LA SEÑAL DE SALIDA Y EL MICROCONTROLADOR

Para el cálculo de las resistencias se definen los siguientes parámetros:

- Voltaje de entrada $V_{IN} = 5V_{DC}$
- Voltaje de salida $V_{OUT} = 110V_{AC}$
- Corriente máxima por el diodo $I_{f\text{ máx.}} = 60\text{ mA}$
- Corriente continua por el colector – emisor $I_c = 10\text{ mA}$

En la entrada del optotransistor funciona con un diodo, por lo que el cálculo de la resistencia R_1 se va a realizar de acuerdo la corriente que puede activar al led, el cálculo viene dado por la ecuación 3.1.

$$R1_{min} = \frac{VDC_{IN} - V_{diodo}}{I_f} \quad (3.1)$$

Para una corriente $I_f = 15 \text{ mA} < 60 \text{ mA}$ (Corriente máxima que soporta el diodo) se reemplazara en la ecuación 3.1 y se tiene:

$$R1_{min} = \frac{5 \text{ V} - 1.5 \text{ V}}{10 \text{ mA}}$$

$$R1_{min} = 233 \, \Omega \sim 330 \, \Omega$$

La resistencia escogida será la de mayor valor normalizado y viene dado por la ecuación 3.2, con ello limita la corriente que circula por el diodo como se muestra en la figura 3.14.

La potencia que disipa la resistencia se calcula por la ecuación 3.2.

$$P_{DR1} = I^2 * R \quad (3.2)$$

$$P_{DR1} = (15 \text{ mA})^2 * (330 \, \Omega)$$

$$P_{DR1} = 0.074 \text{ W}$$

$$R_1 = 330 \, \Omega ; \frac{1}{2} \text{ W}$$

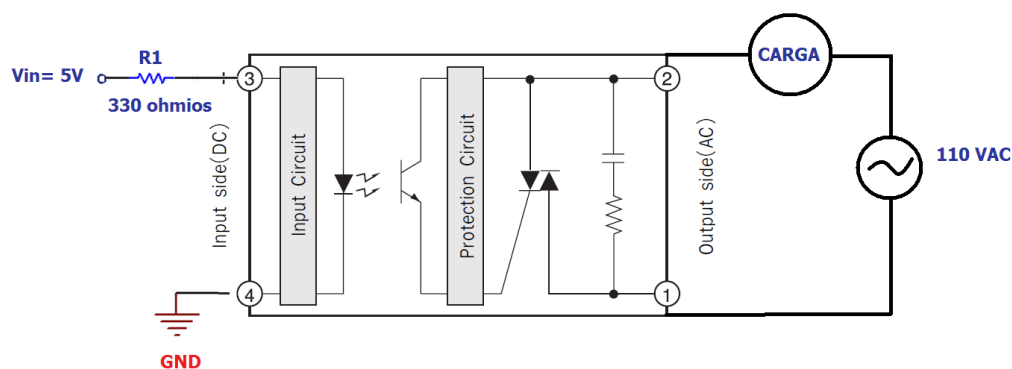


Figura 3.14 Salida del microcontrolador optoacoplada- relé de estado sólido

En donde la carga constituye el vaporizador y la resistencia tubular.

Cuando no hay tensión en la salida, no hay corriente por el diodo del optoaislador. Entonces el transistor estará cortado, por lo que la carga estará desconectada. Cuando se aplique diferencia de tensión en la salida, circulará corriente por el diodo. Esta corriente será suficiente para que el transistor se sature, por lo que el triac permitirá el paso de corriente, alimentando de esta manera a la carga.

3.6.5.2 SALIDAS DE CONTROL PARA LOS VENTILADORES

Se tiene un ventilador de $12V_{DC}$, que se conecta directamente al pin de salida del microcontrolador como se muestra en la figura 3.15, de forma que se active a nivel alto o a nivel bajo. Es por ello que para poder conectar el ventilador de bajo consumo se debe utilizar la siguiente configuración:

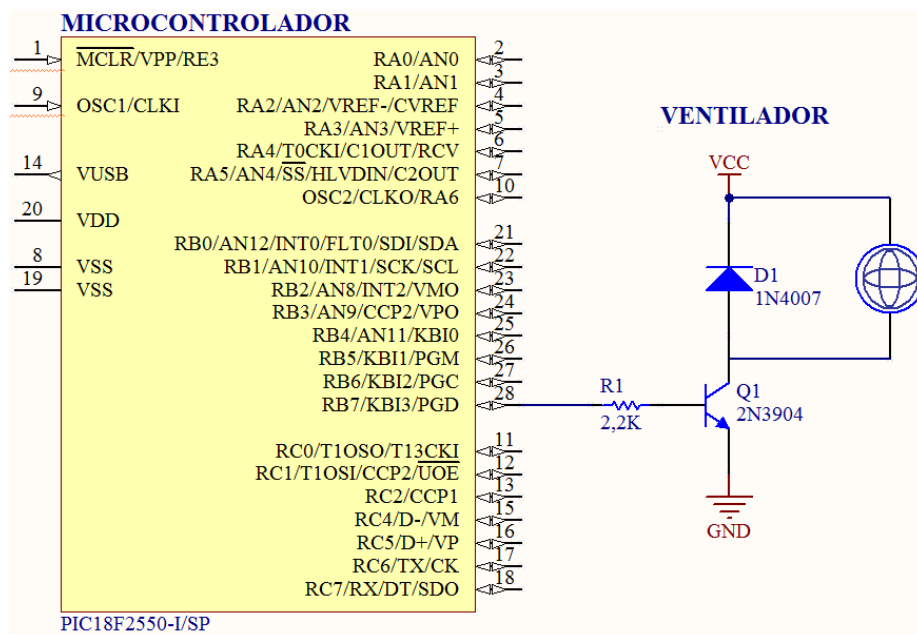


Figura 3.15 Salida del microcontrolador conectada a un ventilador

La ventaja de esta configuración es que la corriente que atraviesa el ventilador no pasa por el microcontrolador. El funcionamiento es el siguiente. Cuando la salida está a 0L, no hay corriente de base, por lo que el transistor está cortado y no circula corriente por el ventilador. Cuando se coloca un 1L a la salida del microcontrolador,

existe una corriente de base que hace que el relé se ponga en saturación, cayendo 0.2 V en la unión CE y el resto en el ventilador, activándolo.

Para calcular R_1 hay que tener en cuenta que el transistor deberá estar en saturación. La corriente que necesita el relé es de 180 mA, que será la corriente I_c (corriente a través del colector). Para que el transistor esté en saturación se debe cumplir que $I_c > \beta \cdot I_B$ (Corriente de base). La ganancia mínima β_{min} obtenida de las hojas de características del transistor es 60 y la corriente que necesita el ventilador es de 180mA.

$180 \text{ mA} > 60 I_B$. Por lo que la corriente mínima que debe salir del microcontrolador es de 3 mA. Para asegurar que se está saturado se asume una corriente igual a 5 mA. Para calcular R_1 : La tensión en la salida del microcontrolador es 5 V y la V_{BE} de 0.8 V se tiene la ecuación 3.3.

$$V_{OUT \text{ PIC}} = I_B \cdot R_1 + V_{BE} \quad (3.3)$$

$$5V = 5mA \cdot R_1 + 0.8V$$

$$R_1 = \frac{5V - 0.8V}{5mA} = 840\Omega \sim 2.2K\Omega$$

El diodo D_1 debe ponerse siempre en paralelo con la bobina del ventilador (para bobinas alimentadas con corriente continua). Este diodo se utiliza porque al pasar el transistor de saturación a corte hay un cambio muy brusco de la corriente que pasa por el colector y por la bobina, el cual genera una tensión muy elevada en sus bornes. El diodo permite que al cortar el transistor, la corriente que pasa por la bobina sigue circulando por el diodo, atenuándose de una forma no tan brusca.

3.6.6 FUENTE DE ALIMENTACIÓN

Para garantizar el correcto funcionamiento de circuito de control, se hace necesario que la fuente de alimentación entregue un voltaje regulado y puro.

El microcontrolador, LCD y el sensor DC-SS500 requieren de una fuente de 5V, para su funcionamiento y se muestra en la figura 3.16.

En el mercado existe una gran variedad de fuentes rectificadas, que dependiendo de sus características se escogerá la que mejor se adapte al equipo. La fuente rectificadora debe cumplir con ciertos requerimientos como son: tener una entrada de $110V_{AC}$. Se dispone de la fuente LLAS-3000, su fabricante es LIANLONG y cuyas características se describen a continuación:

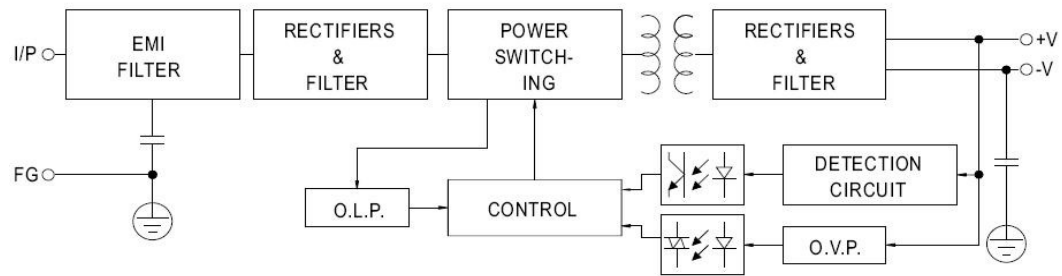


Figura 3.16 Fuente rectificadora tipo LLAS3000 – diagrama de bloques

Esta fuente rectificadora tiene un rango de entrada de $90V_{AC}$ hasta $140V_{AC}$, con un rango de frecuencia de entrada de 47Hz a 63Hz. El voltaje rectificado y filtrado que entrega esta fuente es de $12V_{DC}$, y entrega una corriente igual a 3 A.

Para obtener la fuente de voltaje necesaria para los equipos se utilizará un regulador LM7805 mostrado en la figura 3.17.

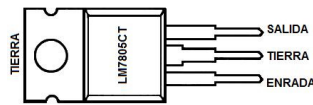


Figura 3.17 Distribución de pines del regulador de voltaje LM7805CT

Para el regulador LM7805CT tiene un rango de voltaje de entrada de 7.5V a 20V, corriente de 2,1A y un voltaje de salida de $5V \pm 4\%$.

Este integrado tiene incorporado protecciones contra corto circuito y sobrecarga. Adicionalmente al circuito regulador se le agrega un fusible a la entrada de alimentación de voltaje de corriente continua como se indica en la figura 3.18

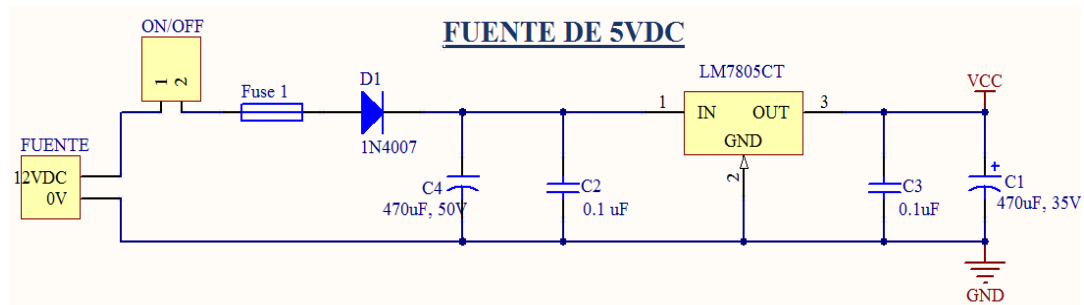


Figura 3.18 Fuente de alimentación de 5V

A los reguladores se les añadió capacitores a la entrada y a la salida para corregir el rizado. Al circuito de alimentación se añadió a su entrada un diodo 1N4007 para evitar daños por causa de una conexión con polaridad inversa.

3.7 CIRCUITO COMPLETO DEL SISTEMA DE CONTROL

Una vez que se ha detallado el diseño de cada una de las partes de Hardware, se procedió a realizar el esquemático con la ayuda de módulo PROTEL del programa DXP 2004, para el desarrollo de circuitos en placa como se muestra en la figura 3.19.

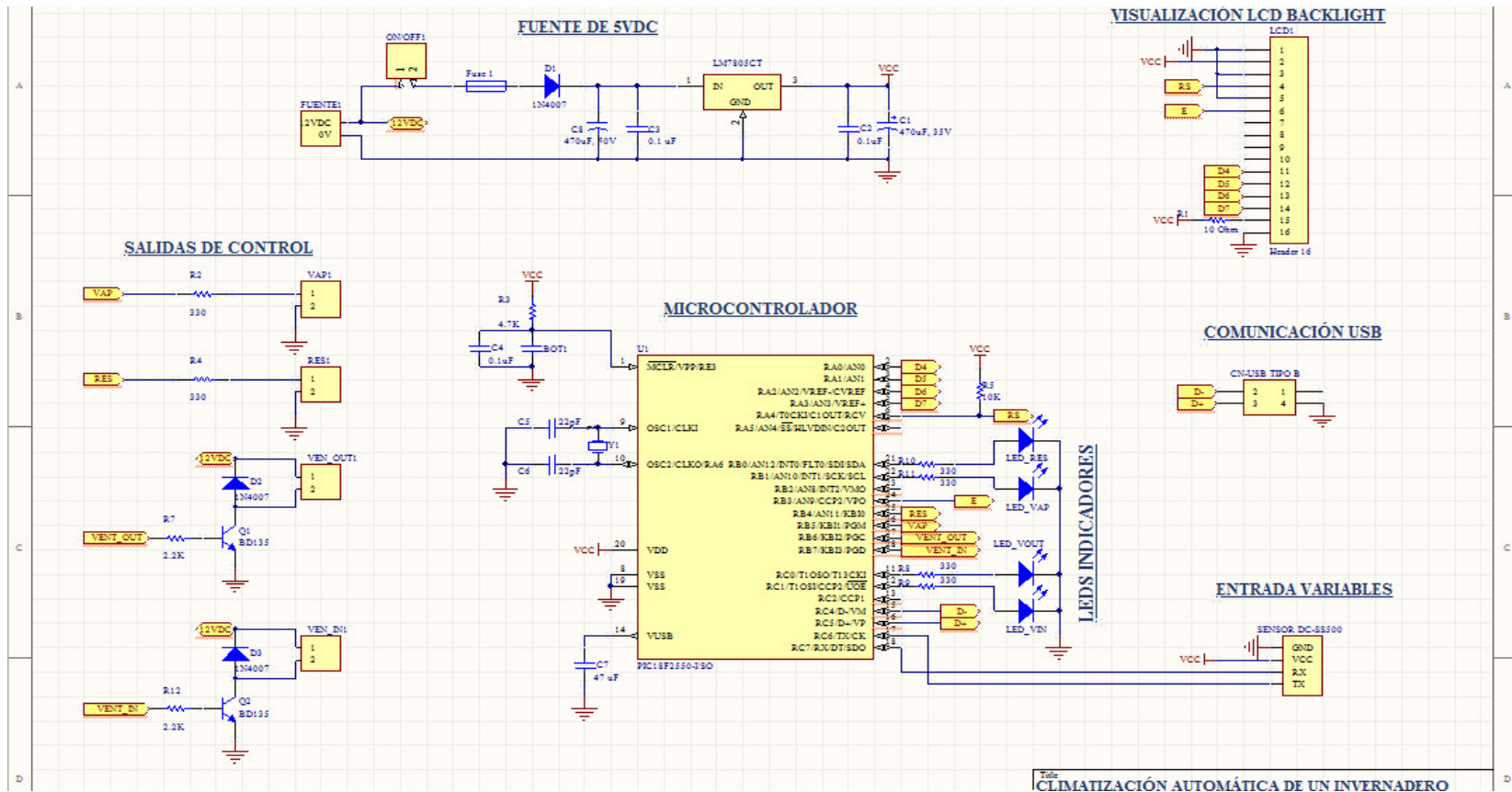


Figura 3.19 Circuito completo del sistema de control

El ruteado se diseñó mediante en módulo PCB del mismo programa, éste permite colocar los elementos en una posición a convenir, definir grosor de línea de ruteado, hoyos, tamaño de la placa, número de rutas entre pines, entre otros. Cuyo diagrama se muestra en la figura 3.20

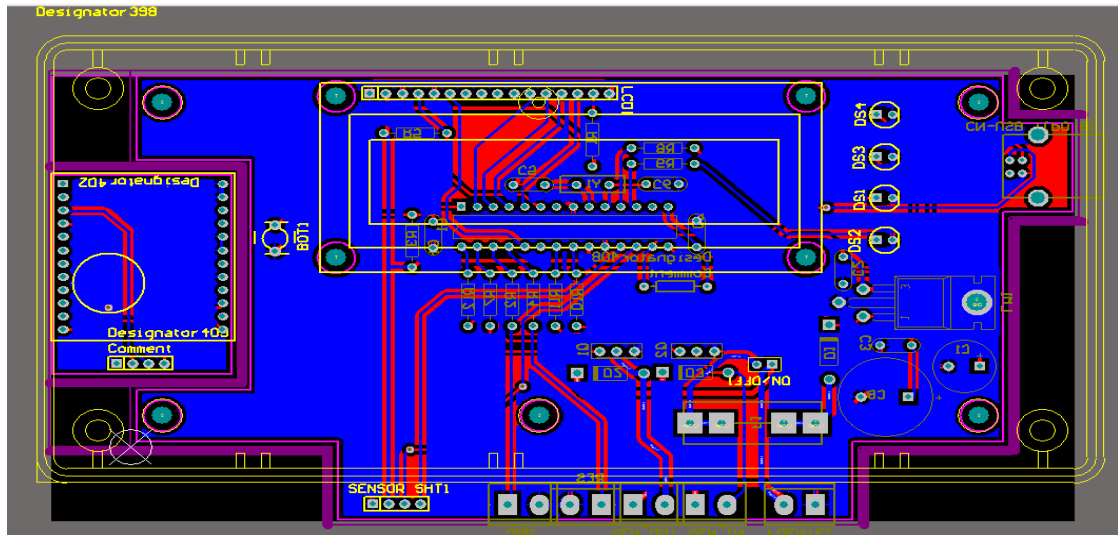


Figura 3.20 Diagrama del diseño de la placa PCB

3.8 PROGRAMA PARA EL MICROCONTROLADOR

Las funciones principales del microcontrolador son: adquirir, visualizar datos y realizar la comunicación con el computador. Para realizar estas funciones, se desarrolló un programa en el compilador PICBasic Pro versión 2.47 el cual se muestra la ventana de inicio en la figura 3.21.

El PICBasic Pro permite crear programas para cualquier de los microcontrolador PICmicro ® y trabaja con la mayoría de los programadores PICmicro ® y con el programador PICKIT2. Cuenta con comandos para el manejo de integrados con interfaz UART, comunicación serial, La compilación es en lenguaje de máquina y al tener el PIC18F2550 alta velocidad de ejecución de instrucciones, no se tiene ningún problema al programar en lenguaje de alto nivel.

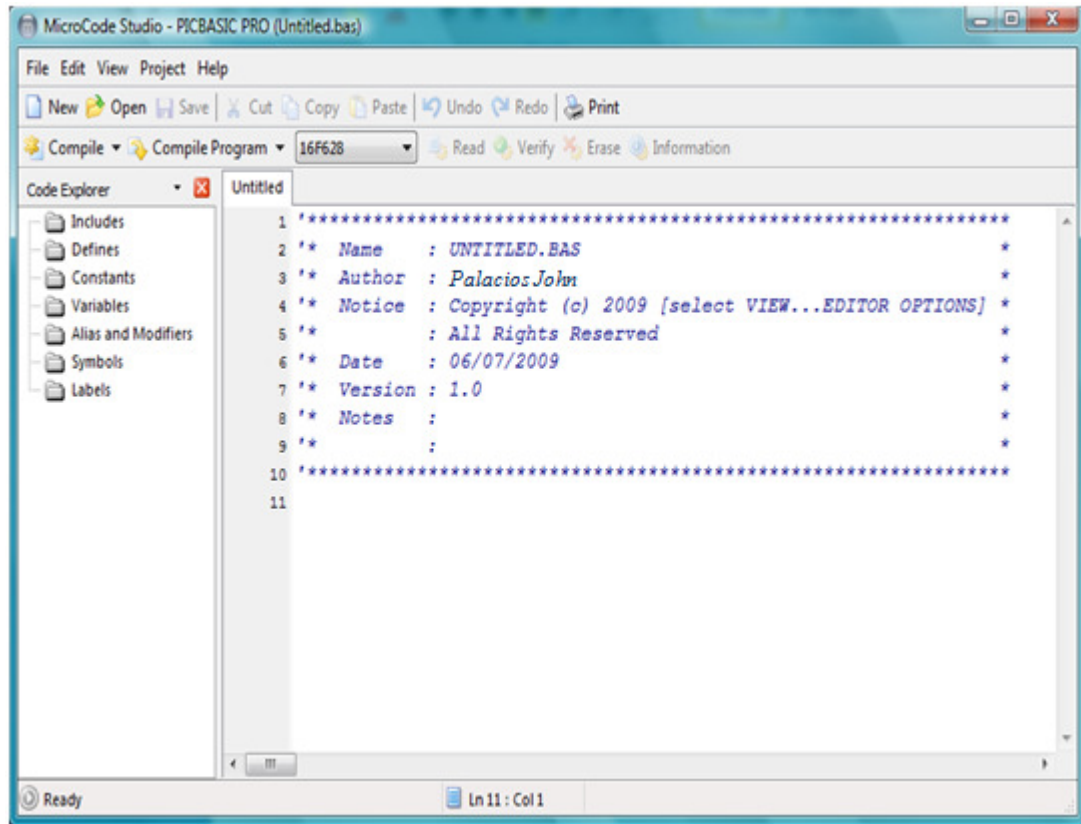


Figura 3.21 Ventana del compilador PICBasic Pro versión 2.47.

El microcontrolador requiere ser configurado de acuerdo con los pines y recursos a utilizar, para el caso son pines utilizados para la comunicación serial, la entrada del sensor, las salidas, la interfaz USB y el manejo del LCD.

Las funciones o tareas que debe realizar el microcontrolador son las siguientes:

- Medir las variables de temperatura y humedad.
- Visualizar información en el LCD.
- Control de actuadores.
- Descargar datos al computador.

Para la programación, estas funciones se diseñaron como subrutinas que se ejecutan dependiendo de lo que el usuario haya solicitado. La función principal del dispositivo es controlar la temperatura y humedad dentro de su rango de histéresis.

El programa principal cuenta con las siguientes subrutinas:

1. *Configuración de recursos del microcontrolador.* Incluye la configuración de pines para los periféricos como entradas, visualización, comunicación y salidas.
2. *Visualización.* Esta subrutina permite visualizar en la pantalla del LCD el valor de la temperatura y de la humedad del invernadero.
3. *Lectura de las variables.-* Esta subrutina es la esencia del dispositivo e incluye el tratamiento de los datos obtenidos de los pines de entrada para señal continua.
4. *Control de los actuadores.-* A través de esta subrutina se puede controlar los actuadores: ventiladores, resistencia tubular, vaporizador, con el propósito de obtener la temperatura y humedad deseadas.

3.8.1 DIAGRAMA DE FLUJO

Un diagrama de flujo es una forma de representar gráficamente los detalles algorítmicos de un proceso multifactorial; es decir, dar soluciones a problemas que se pueden resolver en una manera que a veces no es sencilla o simplemente si no hay solución con problema se debe usar una sencilla y sin problemas. Estos diagramas utilizan una serie de símbolos con significados especiales y son la [representación gráfica](#) de los pasos de un proceso.

Algunos símbolos que se utilizan en los diagramas de flujo del control se muestran en la figura 3.22.

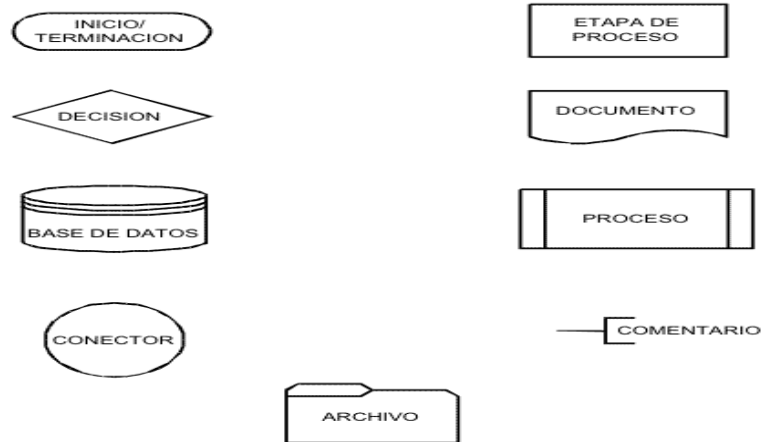


Figura 3.22 Símbolos para diagramas de flujo

En la figura 3.23 se visualiza todo el funcionamiento automático del equipo:

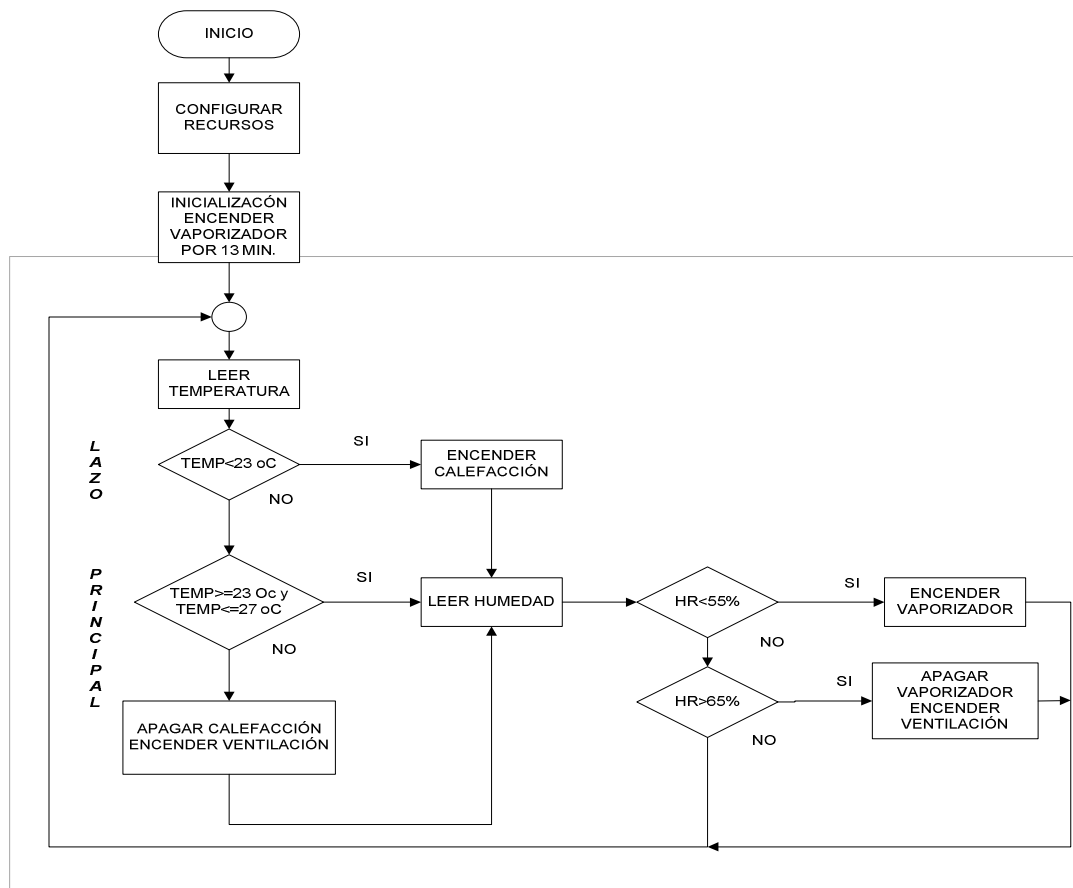


Figura 3.23 Diagrama de flujo del programa principal

Como se aprecia en el diagrama de flujo anterior, el programa principal tiene dos subprogramas que se ejecutan una sola vez cuando el equipo ha sido encendido por primera vez, esto es la configuración del microcontrolador y la inicialización del vaporizador.

3.8.2 CONFIGURACIÓN DEL MICROCONTROLADOR

El programa principal se encarga de configurar el PIC para que maneje los periféricos como el LCD, leds, sensor y relés de estado sólido. Los parámetros que deben configurarse para el microcontrolador son la velocidad que está dada por un oscilador externo de 4MHz., y la asignación de pines para las entradas, las salidas tipo relé, la comunicación UART y comunicación serial USB.

Las pines asignados a la recepción de datos a través de las interfaces UART y USB son manejadas a través de interrupciones, con la misma prioridad.

En la figura 3.24 se muestra el diagrama de flujo de la configuración del microcontrolador.

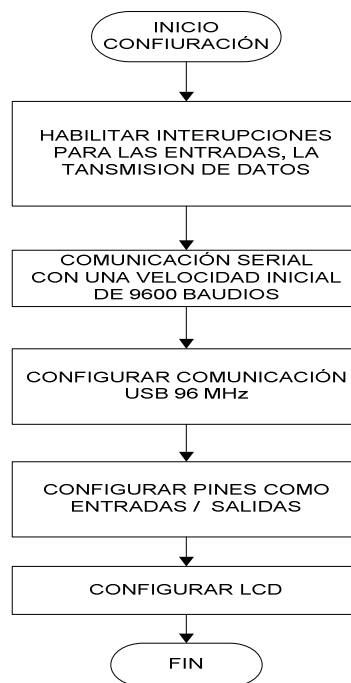


Figura 3.24 Diagrama de flujo de la configuración del microcontrolador

3.8.3 CONFIGURACIÓN DE LA COMUNICACIÓN SERIAL

La comunicación que se establece entre el computador y el dispositivo que permite realizar la adquisición de datos, con el fin de poder procesarlos y obtener la información necesaria en el control de los actuadores de la planta para tener la temperatura y humedad dentro de los límites establecidos.

El microcontrolador envía los datos en forma serial a niveles de voltaje TTL. La comunicación del microcontrolador con el sensor DC-SS500 es de tipo half –dúplex, gracias a que el microcontrolador posee un módulo EUSART (*Enhanced Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter*), el cual se configura en modo asíncrono, a una velocidad de transmisión de datos de 9600 baudios con un formato de datos de ocho bits, sin paridad y un bit de parada.

La frecuencia de reloj y la velocidad de transmisión son usadas para calcular el SPBRGH (Byte más significativo del registro generador de tasa de velocidad del módulo EUSART) y el SPBRG (Byte menos significativo). El valor que se cargue en estos registros determinará los baudios en la transmisión y recepción. El bit SPBR16 se puso igual a cero para poder enviar datos de 8bits, esto hace que el valor SPBRH sea ignorado. Para el cálculo de SPBRG y una frecuencia de 4MHz se tiene la ecuación 3.4.

$$\text{VELOCIDAD}_{\text{DESEADA}} = \frac{F_{\text{OSCILADOR}}}{16[(\text{SPBRGH} : \text{SPBRG}) + 1]} \quad (3.4)$$

Para una velocidad de 9600:

$$\text{SPBRG} = \frac{1}{16} \left(\frac{4\text{MHz}}{9600} \right) - 1$$

$$\text{SPBRG} = 25,132 \approx 25$$

La configuración del EUSART se realiza en los registros TXSTAT, RXSTAT y BAUDCON. El proceso de inicialización del USART se muestra en la figura 3.25

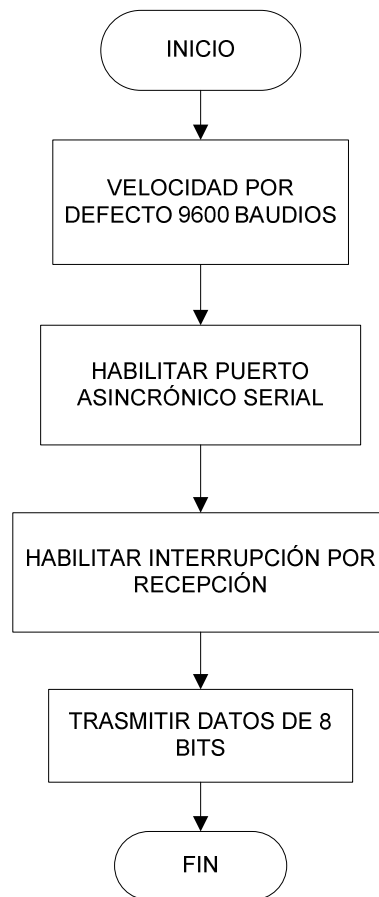


Figura 3.25 Proceso de inicialización del EUSART

Cuando el computador establece comunicación con el microcontrolador, se genera la interrupción por recepción. Dentro de esta subrutina el microcontrolador envía su dirección y una vez recibida la orden de adquisición de datos, el microcontrolador lee el estado de los actuadores y envía por trama la información solicitada.

3.8.4 CONFIGURACIÓN DEL LCD

Las librerías del Microcode Studio inicializan y configura de forma automática al LCD de 16x2 y un bus de datos en 4 bits como se muestra en la figura 3.26.

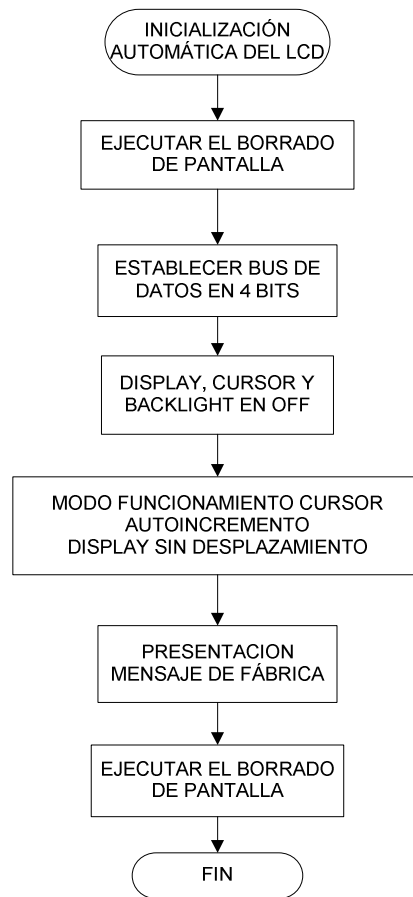


Figura 3.26 Inicialización del LCD

Una vez inicializado el LCD puede configurarse para adaptarse a las necesidades de la aplicación, siguiendo la figura 3.27.

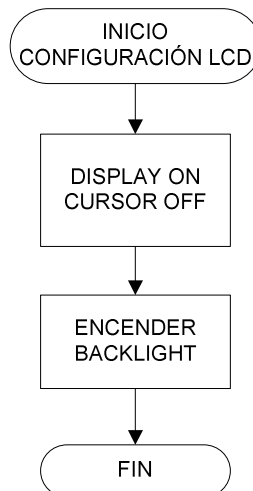


Figura 3.27 Configuración del LCD

3.8.5 SUBROUTINA DE CALEFACCIÓN

Esta subrutina es ejecutada cuando la temperatura esta bajo el límite inferior; es decir, menor a 23 grados Centígrados. Esta subrutina se muestra en la figura 3.28

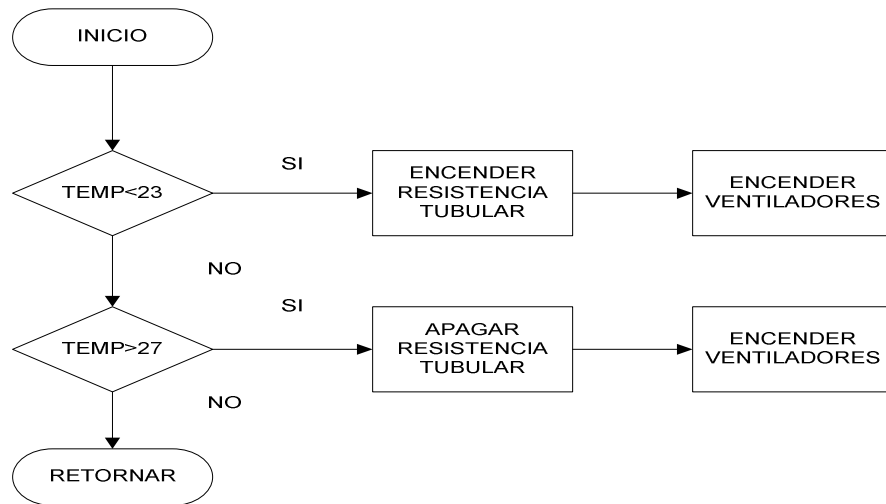


Figura 3.28 Subrutina de calefacción

3.8.6 SUBROUTINA DE VAPORIZACIÓN

Esta subrutina permite activar el vaporizador par incrementar la humedad relativa dentro del invernadero. La secuencia se muestra en la figura 3.29. 75

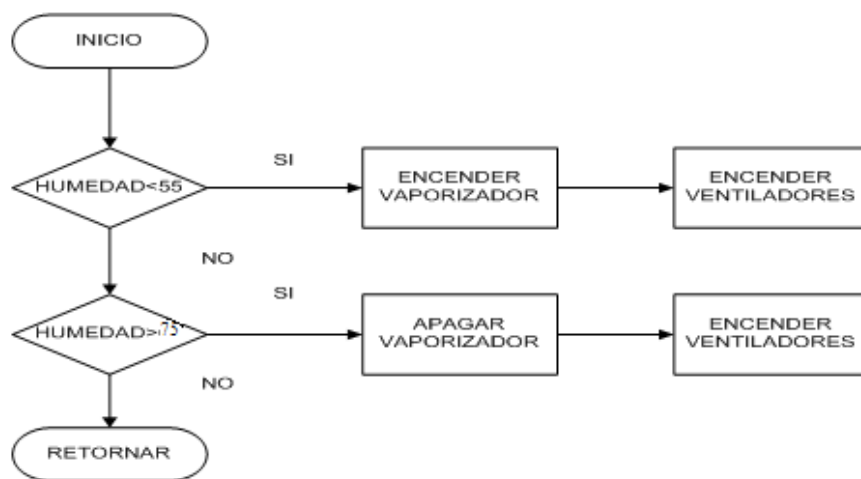


Figura 3.29 Subrutina de vaporización

3.8.7 SUBROUTINA DE VENTILACIÓN

Esta subrutina es activa cuando la temperatura esta sobre el límite superior; es decir, sobre los 27 grados centígrados, además cuando la humedad es alta. Su secuencia se describe en la figura 3.30.

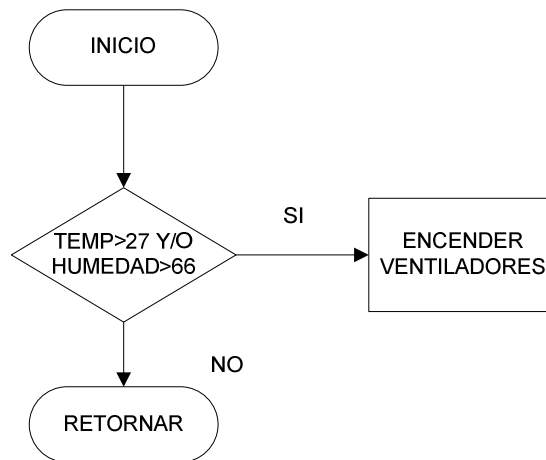


Figura 3.30 Subrutina de ventilación

CAPÍTULO 4

PROGRAMACIÓN DE LA INTERFAZ GRÁFICA (HMI)

En el presente capítulo se detallará el diseño del software y del firmware para el microcontrolador PIC18F2550, así como el software para el desarrollo de la interfaz gráfica para el computador. El Firmware es un bloque de instrucciones de programa para propósitos específicos, básicamente se podría asociar el firmware del microcontrolador con el BIOS de un computador; de esta manera el Firmware es el encargado de que el computador reconozca al microcontrolador como un dispositivo USB e intercambia información con el mismo antes de empezar a realizar una comunicación bidireccional.

El programa del microcontrolador consta de dos etapas. La primera realiza el control local y visualización de los parámetros del invernadero. La segunda etapa comunica el microcontrolador con la computadora a través del puerto USB; de igual manera el equipo podrá trabajar con normalidad; en esta etapa el PIC18F2550 envía al computador los datos sobre el estado de los actuadores que interviene en el proceso para mantener la humedad y temperatura constante; los mismos que son almacenados en una base de datos de Microsoft Access, en base a esta información se realizan un gráfico estadístico

4.1 DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LAS HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES UTILIZADAS.

Una de las condiciones es que el Dispositivo Electrónico pueda ser controlado por el computador vía USB; por tal motivo se describirá cuales fueron las herramientas computacionales utilizadas para poder conectar el microcontrolador PIC18F2550 al PC.

A continuación se describirá que herramientas computacionales se utilizaron y los procedimientos empleados en el diseño del software, tanto del microcontrolador como del computador. Las herramientas para el desarrollo de este proyecto son:

- MicroCode Studio Plus PicBasic PRO
- EasyHID
- Visual Basic 6.0

4.1.1 MICROCODE STUDIO PICBASIC PRO.

El MicroCode Studio es una interfaz en la cual se escribe el código del programa para el microcontrolador, en este caso el PIC18F2550, la programación se la realiza en lenguaje Basic. Este programa corrige errores de sintaxis. El MicroCode se enlaza con el PICBASIC PRO. De esta forma cuando el programa ha sido terminado se guarda en formato Picbasic *.BAS., se compila y se genera el archivo *.HEX, el mismo que será almacenado en la memoria del microcontrolador

El PICBASIC es un compilador que transforma un archivo *.BAS a *.HEX. El programa cuenta con su propio set de instrucciones, muy fáciles de usar, utiliza comandos típicos de Basic como el IF... FOR..., etc. Por otro lado tiene comandos para poder realizar comunicación USB.

4.1.2 EASYHID USB WIZARD

Microcode ofrece el EasyHID Wizard, un programa que guía paso a paso lograr la comunicación del microcontrolador con el PC vía USB; generando dos plantillas de programas. El primer programa es un software implementado en Visual Basic para el computador, el segundo programa es el Firmware para el microcontrolador PIC18F2550. Es necesario ingresar algunos parámetros para que el Wizard genere una identificación ID, para que el computador pueda reconocer al microcontrolador como un HID (Dispositivo de Interfaz Humana), muy similar a una impresora, o un teclado USB. En la figura 4.1 se describe la utilización de este Wizard.

Dentro del menú de *VIEW* dar clic en *EasyHID USB Wizard*.

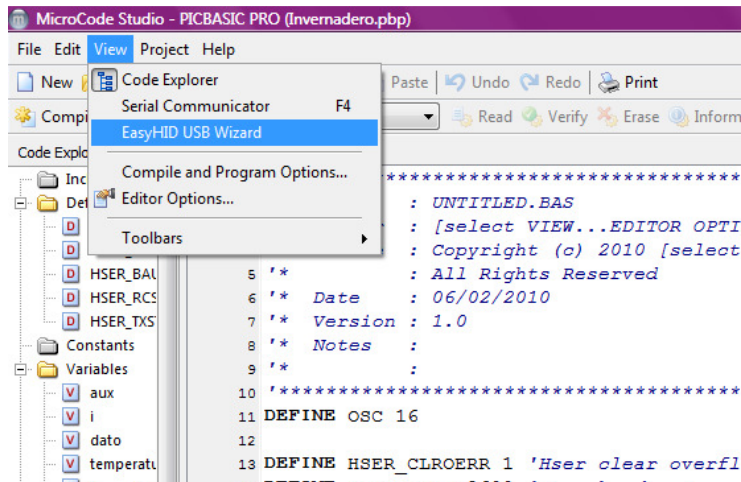


Figura 4.1 EasyHID USB wizard

Después aparecerá una pantalla como se muestra en la figura 4.2, en la que se pueden cambiar valores como el nombre de Producto y el nombre de la Compañía.

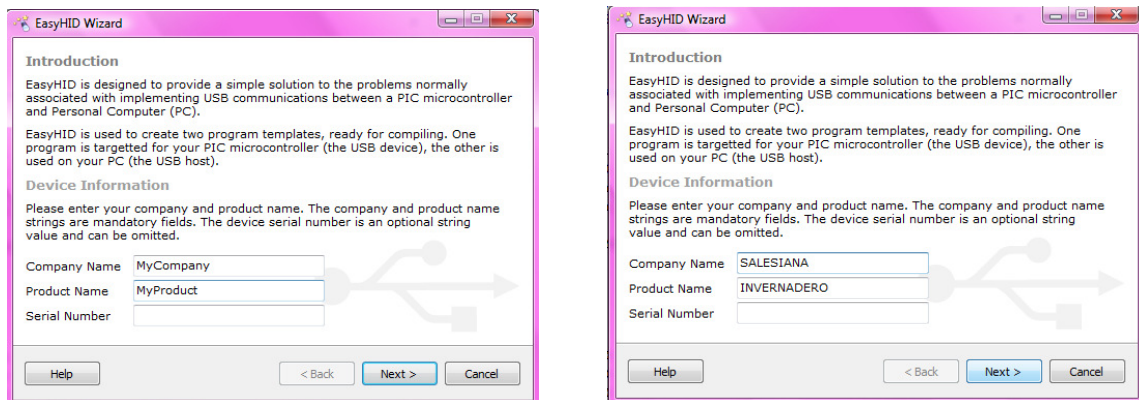


Figura 4.2 Nombre de producto y nombre de la compañía.

Luego hacer clic en *Next*, se puede ver el Vendor ID y el Product ID como se muestra en la figura 4.2 y que como nos indica el fabricante son valores para distinguir los dispositivos, y son únicos en el mundo, así que para pruebas se utilizarán los que viene por defecto, así como los otros parámetros de comunicación.

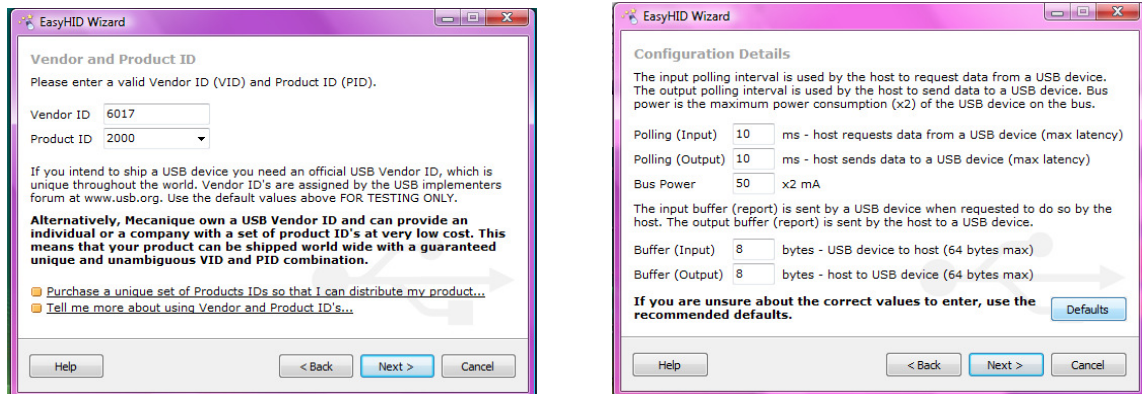


Figura 4.3 Vendor ID y el product ID

El paso final, que es seleccionar el nombre del proyecto, el directorio donde será creado y los lenguajes para los cuales generará el código, tanto para PIC como para PC como se muestra en la figura 4.4

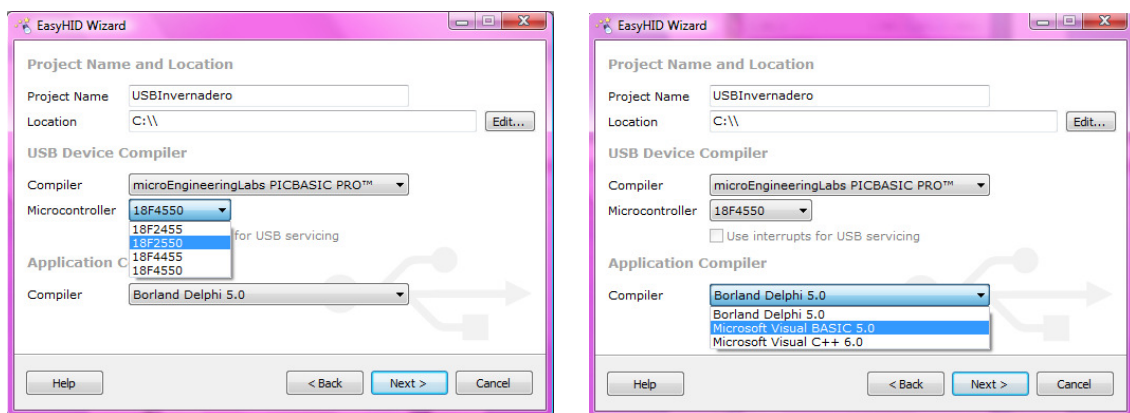


Figura 4.4 Selección de los lenguajes de comunicación

Una vez que se ha configurado todo, hacer clic en *Next* y el wizard empezará a hacer su trabajo, si todo se dio con éxito el código habrá sido generado y veremos una pantalla como se muestra en la figura 4.5.

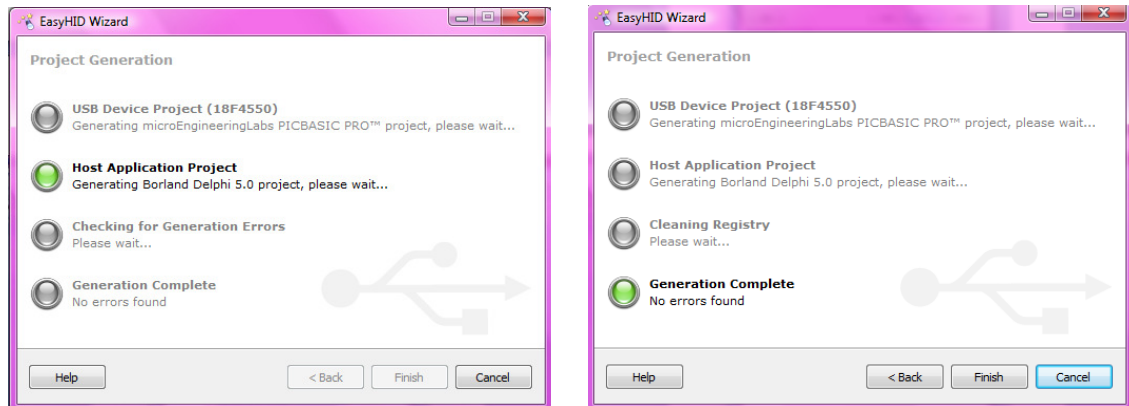


Figura 4.5 Pantalla final del easyHID wizard

Luego, en la carpeta en donde se guardó el proyecto, se abre un archivo generado para el microcontrolador en Microcode, esta plantilla se muestra en la figura 4.6

```

DEFINE OSC 48
DEFINE LOADER_USED 1
USBBufferSizeMax con 8 ' maximum buffer size
USBBufferSizeTX  con 8 ' input
USBBufferSizeRX  con 8 ' output
' the USB buffer...
USBBuffer      Var Byte [USBBufferSizeMax]
USBBufferCount Var Byte
' *****
' * main program loop - remember, you must keep the USB      *
' * connection alive with a call to USBService every couple milliseconds or so...
' *****
usbinit ' initialise USB...
ProgramStart:
  gosub DoUSBIn
  gosub DoUSBOut
  goto ProgramStart
' *****
' * receive data from the USB bus                                *
' *****
DoUSBIn:
  USBBufferCount = USBBufferSizeRX      ' RX buffer size
  USBService      ' keep connection alive
  USBIn 1, USBBuffer, USBBufferCount, DoUSBIn ' read data, if available
  return
' *****
' * wait for USB interface to attach                            *
' *****
DoUSBOut:
  USBBufferCount = USBBufferSizeTX      ' TX buffer size
  USBService      ' keep connection alive
  USBOut 1, USBBuffer, USBBufferCount, DoUSBOut ' if bus available, transmit data
RETURN

```

Figura 4.6 Código generado por el wizard

Esta es una plantilla en donde se inserta el código necesario para realizar el control de los actuadores del invernadero y el protocolo para enviar los datos al computador.

4.1.3 VISUAL BASIC 6.0

Visual Basic es un programa con una interfaz gráfica de usuario para crear aplicaciones para Windows basado en el lenguaje Basic y en la programación orientada a objetos.

La palabra “Visual” se refiere al método que se utiliza para crear la interfaz gráfica de usuario como se muestra en la figura 4.7; pues ya no es necesario escribir demasiadas líneas de código para realizar una interfaz gráfica; pues ahora sólo se utiliza el Mouse se arrastra y se coloca objetos prediseñados dentro de un formulario; por ejemplo un botón. La interfaz gráfica permite al usuario trabajar con un entorno más amigable, adaptándose fácilmente a la aplicación y agregando una serie de funciones que el dispositivo electrónico por sí solo no podría prestar.

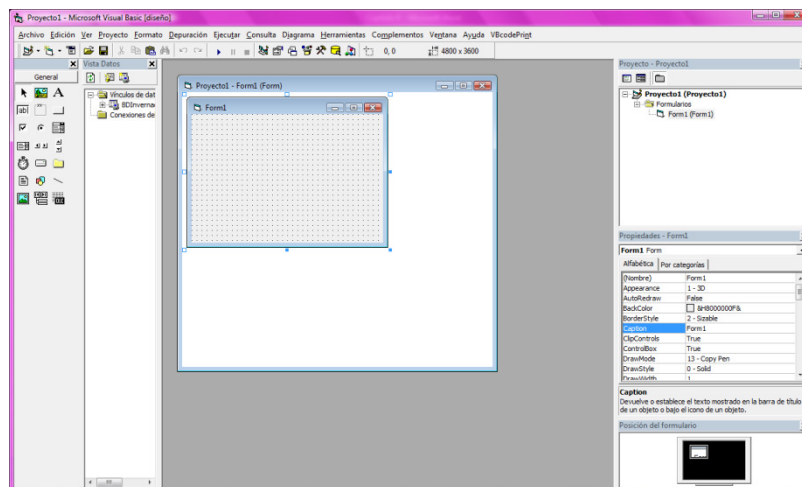


Figura 4.7 Interfaz de visual basic 6.0

Los formularios son las ventanas que contienen controles como botones, datagrid, etiquetas, etc. Que combinados con el código se convierten en una interfaz gráfica hombre-máquina muy amigable.

4.2 FORMULARIO PRINCIPAL

La aplicación como el dispositivo instalado en el Invernadero cuenta con un formulario, cuya función es establecer la conexión con el microcontrolador PIC18F2550 vía puerto USB, adicionalmente establece un enlace con Microsoft Access, en el que se genera la base de datos donde se almacenan el estado de los actuadores: resistencia tubular, vaporizador, ventilador impulsor y extractor. En la figura 4.8 se realiza un diagrama de flujo general de la aplicación y en la figura 4.9 se muestra el formulario principal.

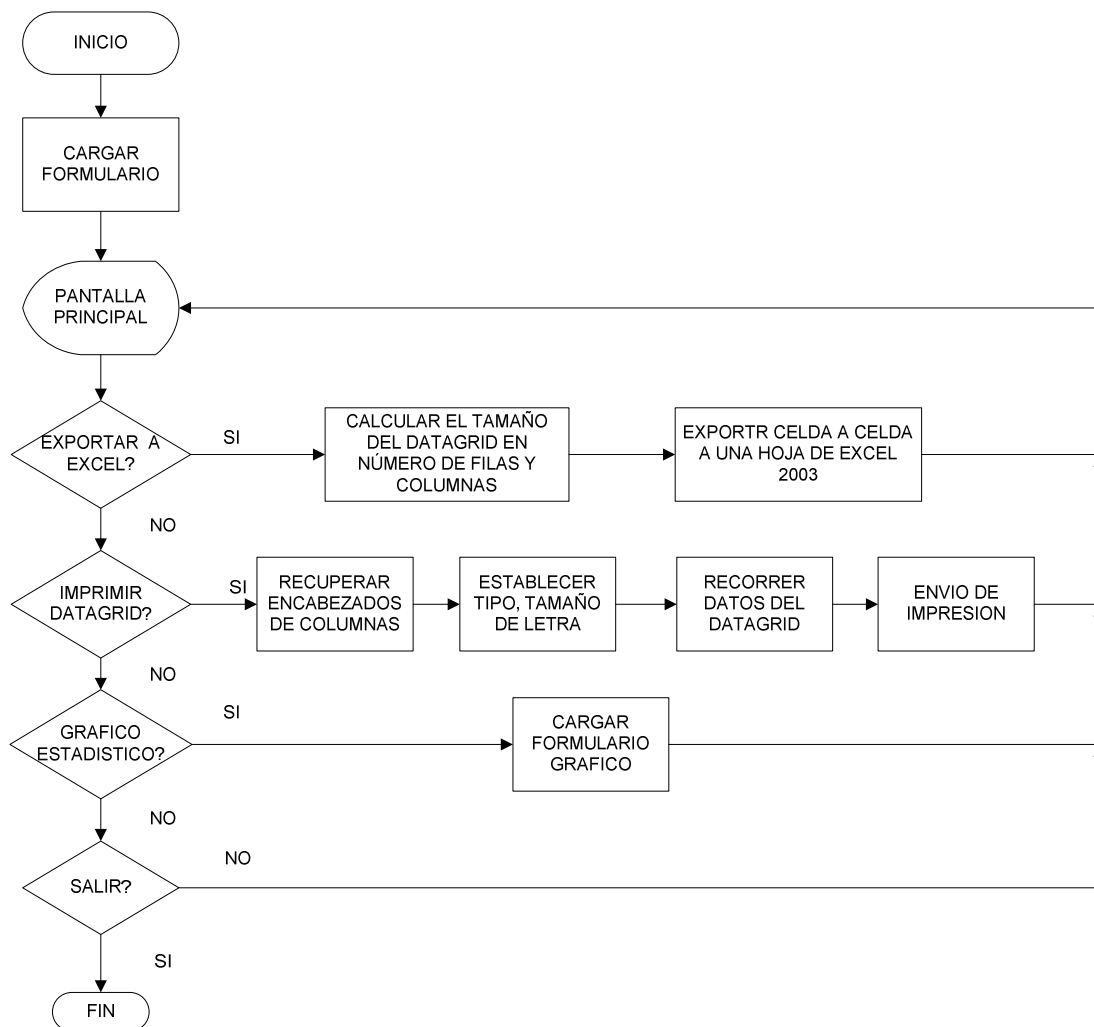


Figura 4.8 Diagrama de flujo formulario principal

Diseño y Construcción de un Invernadero a Escala con Climatización para el Laboratorio de Termodinámica de Ingeniería Mecánica de la UPS

AUTOR: John Paul Palacios Rojas

ESTADO: DESCONECTADO

IMPRIIB

lunes, 01 marzo

10:21:13

Sistema Extracción

Sistema Calefacción

Sistema Impulsión

Sistema Humidificación

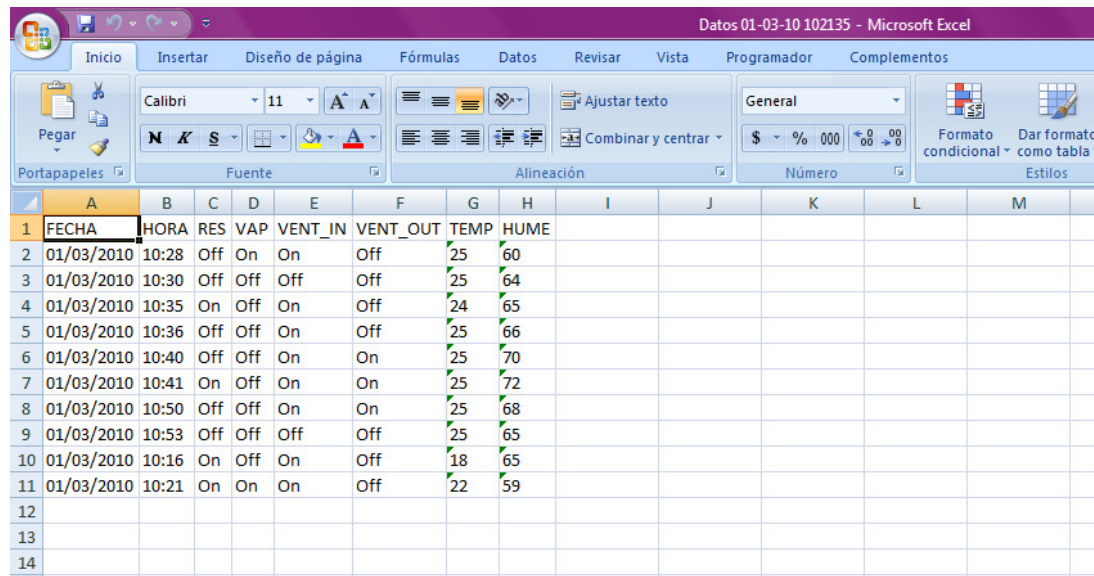
	FECHA	HORA	RES	VAP	VENT IN	VENT OUT	TEMP	HUIME
▶	01/03/2010	10:28	Off	0n	Off	Off	25	60
	01/03/2010	10:30	Off	Off	Off	Off	25	64
	01/03/2010	10:35	0n	Off	Off	Off	24	65
	01/03/2010	10:36	Off	Off	Off	Off	25	66
	01/03/2010	10:40	Off	Off	0n	0n	25	70
	01/03/2010	10:41	0n	Off	0n	0n	25	72
	01/03/2010	10:50	Off	Off	Off	Off	25	68
	01/03/2010	10:53	Off	Off	Off	Off	25	65
	01/03/2010	10:16	0n	Off	0n	Off	18	65
	01/03/2010	10:21	0n	0n	Off	Off	22	59
*								

Figura 4.9 *Formulario principal*

Una vez que la aplicación es iniciada desde su archivo ejecutable, se observa la pantalla anterior, la misma que consta de:

- Un frame o marco de *Conexión USB* el cual indica el estado del dispositivo, es decir si está Conectado o Desconectado y el último datos recibido.
- Un CommandButton o botón *Importar a Excel*, al ejecutarse este evento el programa salta a una subrutina que permite crear una hoja de Microsoft Excel para almacenar todos los datos visualizados en el datagrid. Esta hoja es guarda automáticamente en una carpeta llamada “Datos”.
- Un CommandButton o botón *Imprimir* el mismo que permite enviar los datos contenidos en el datagrid a la impresora que esté instalada en el equipo o computador.
- Un CommandButton o botón *Gráfico Estadístico* que muestra un nuevo formulario con un gráfico estadístico con la información sobre el estado de los actuadores del invernadero: resistencia tubular, vaporizador y ventiladores.
- Un marco que contiene un Datagrid, este control permite visualizar todos los datos almacenados en la base de datos de Access.
- Un PictureBox o cuadro gráfico que contiene una vista de la planta física del invernadero, sobre la cual se tiene etiquetas que permiten visualizar el estado actual del sistema de calefacción, sistema de humidificación, sistema de impulsión y sistema de extracción.

En la figura 4.10 se muestra una vista de la hoja generada por la aplicación, con los datos exportados desde el Datagrid:



The screenshot shows a Microsoft Excel window titled 'Datos 01-03-10 102135 - Microsoft Excel'. The ribbon includes 'Inicio', 'Insertar', 'Diseño de página', 'Fórmulas', 'Datos', 'Revisar', 'Vista', 'Programador', and 'Complementos'. The 'Inicio' ribbon is active, showing options for 'Portapapeles', 'Fuente' (Font), 'Alineación' (Alignment), 'Número' (Number), and 'Estilos' (Styles). The data table is as follows:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	FECHA	HORA	RES	VAP	VENT_IN	VENT_OUT	TEMP	HUME					
2	01/03/2010	10:28	Off	On	On	Off	25	60					
3	01/03/2010	10:30	Off	Off	Off	Off	25	64					
4	01/03/2010	10:35	On	Off	On	Off	24	65					
5	01/03/2010	10:36	Off	Off	On	Off	25	66					
6	01/03/2010	10:40	Off	Off	On	On	25	70					
7	01/03/2010	10:41	On	Off	On	On	25	72					
8	01/03/2010	10:50	Off	Off	On	On	25	68					
9	01/03/2010	10:53	Off	Off	Off	Off	25	65					
10	01/03/2010	10:16	On	Off	On	Off	18	65					
11	01/03/2010	10:21	On	On	On	Off	22	59					
12													
13													
14													

Figura 4.10 Hoja de excel generada por la aplicación

4.3 FORMULARIO GRÁFICO ESTADÍSTICO

Este formulario es llamado desde el Formulario Principal con el objetivo de visualizar de una manera gráfica y global el estado de los actuadores. Esta información ayuda, si fuese el caso de un invernadero real, en el proceso de mantenimiento preventivo, ya que se podrán planificar y ejecutar tareas para revisión de los diferentes sistemas que intervienen en mantener la temperatura y humedad constante. Este formulario consta de:

- Un MSChart es el control que contiene el gráfico deseado, en diferentes tipos.
- Un ComboBox *Tipo de Gráfico* el cual permite seleccionar el tipo de gráfico que se desea visualizar

Una vez que este formulario es cerrado, se regresa al formulario principal. En la figura 4.11 se muestra algunas pantallas de este formulario:

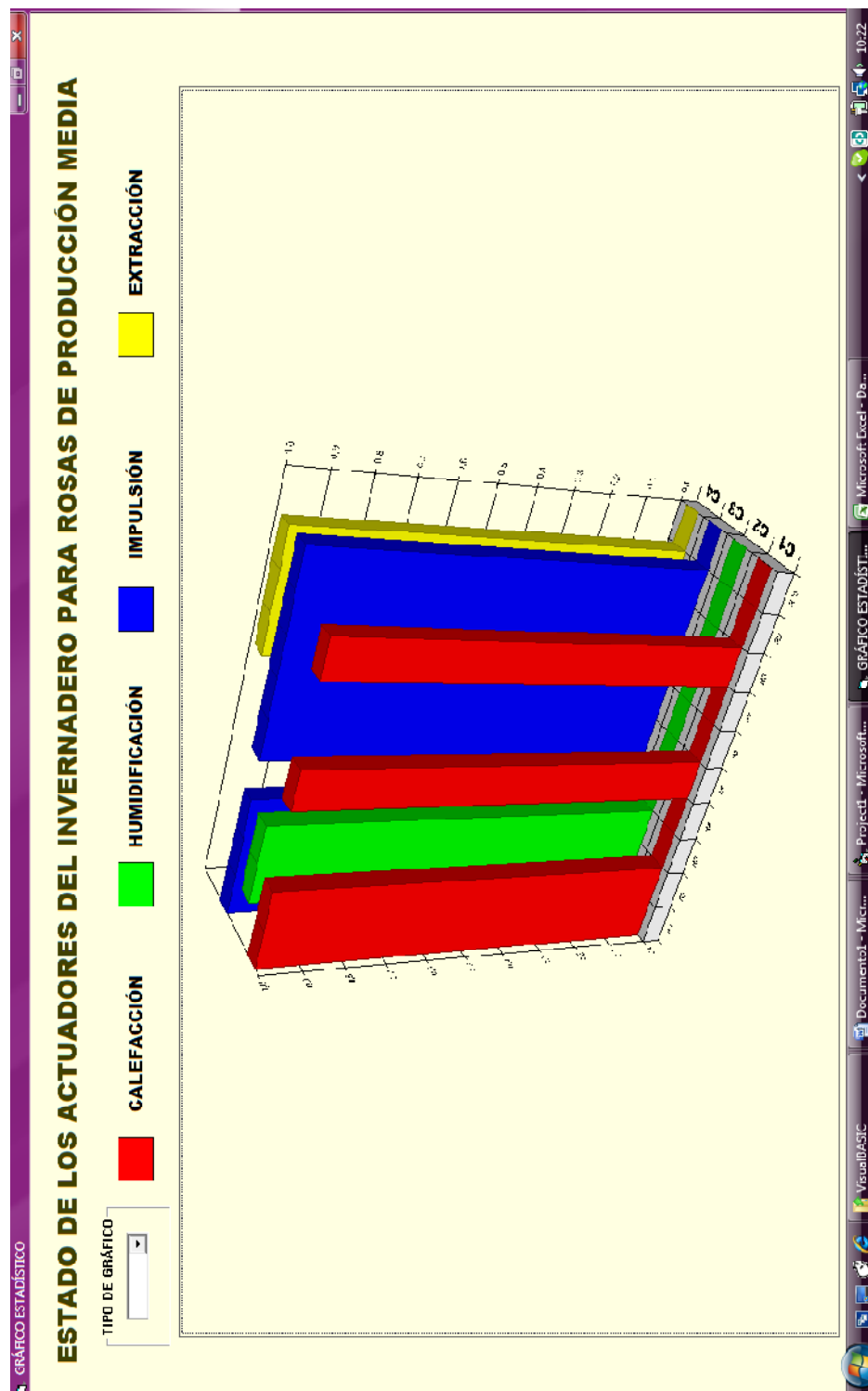


Figura 4.11 Formulario gráfico estadístico

El diagrama de flujo de este formulario se presenta en la figura 4.12.

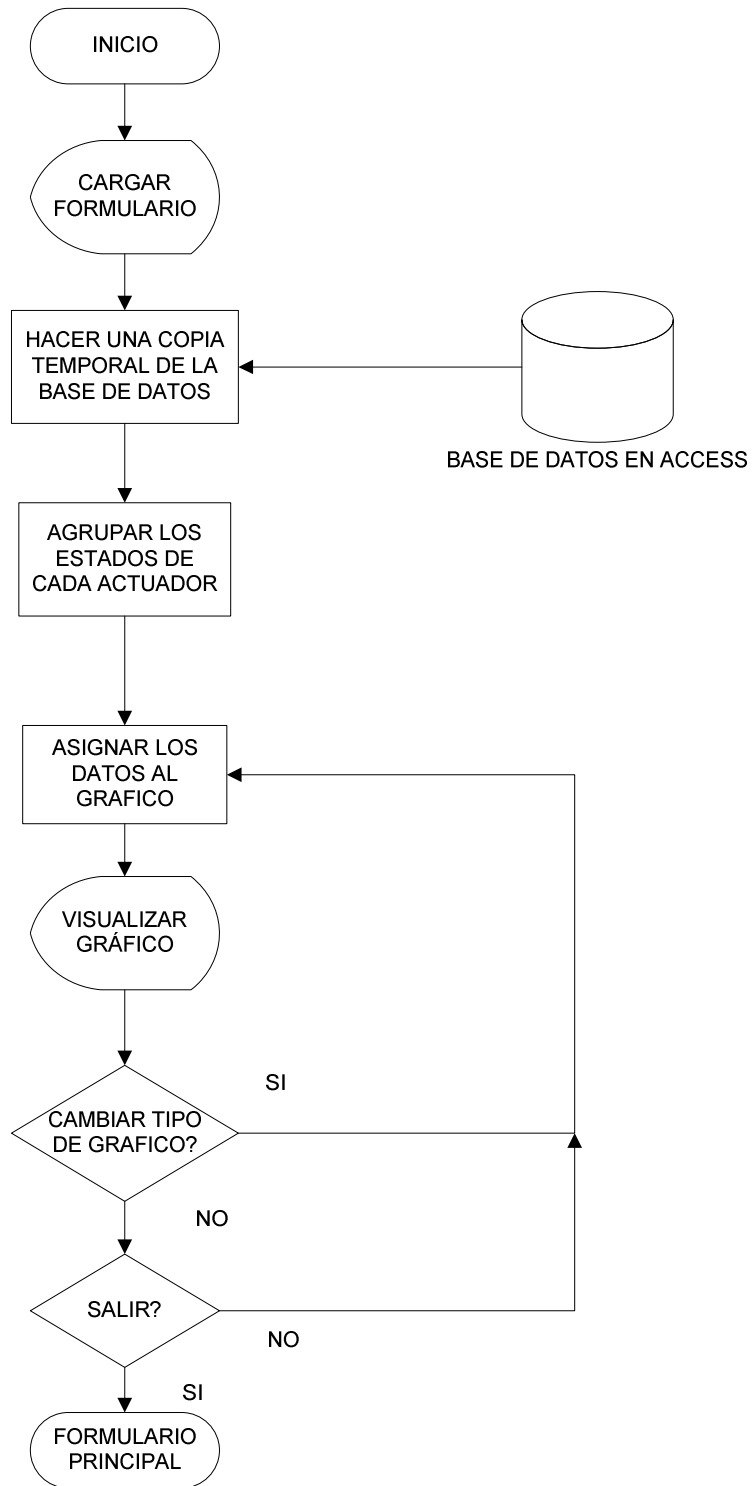


Figura 4.12 Diagrama de flujo del formulario gráfico estadístico

CAPÍTULO 5

EXPERIMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

El capítulo descrito a continuación muestra los resultados de la experimentación de los sistemas de calefacción, humidificación, impulsión y extracción interactuando dentro de la maqueta. Para realizar el análisis de los resultados se tomaron mediciones de temperatura y humedad en el centro geométrico del invernadero. Finalmente se realizó el registro de los datos para su correspondiente interpretación.

5.1 PROPÓSITO DE LA EXPERIMENTACIÓN

Verificar que el programa realizado para el microcontrolador sea capaz de controlar los actuadores del invernadero: resistencia tubular, vaporizador, ventiladores, con el fin de mantener la temperatura en $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa de $65\% \pm 10\%$, ya que estos son los requisitos para un mejor aprovechamiento del cultivo de rosas rojas de producción media.

5.2 INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN LA MEDICIÓN

Los instrumentos utilizados en la medición se detallan a continuación:

- Un sensor digital que mide humedad relativa y temperatura
- Un multímetro
- Un cronómetro

5.3 UBICACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

Para las pruebas del funcionamiento de los sistemas de calefacción, vaporización, impulsión y extracción se cuenta con un solo sensor, que es ubicado en el centro geométrico del invernadero para obtener una medición promedio de las variables a analizar, temperatura y humedad relativa.

En cuanto a la ubicación de los actuadores se detallan a continuación:

- Se realizó un orificio en las paredes norte del invernadero y se instaló un ventilador de extracción, empleado en la extracción de aire caliente, o en la ventilación cuando existe humedad excesiva.
- Se realizó un orificio en las paredes sur del invernadero y se colocó una caja metálica que alberga la resistencia tubular empleada para incrementar la temperatura interna del invernadero.
- En la caja metálica se instaló un ventilador de impulsión, el mismo que fue empleado en la calefacción, ventilación y humidificación del invernadero.
- En la parte inferior de la pared sur se instaló la tubería de cobre que conduce el vapor generado por el vaporizador, recubierta por fibra de vidrio, un aislante térmico que evita la condensación del vapor de agua a lo largo y codo de la tubería.
- El dispositivo electrónico, quien controla los actuadores del invernadero se ubicó en la pared este del invernadero, junto a la puerta.

5.4 PRUEBAS DEL MANEJO DE LOS ACTUADORES

Estas pruebas se realizaron para verificar que los actuadores trabajen de forma automática para mantener la temperatura y humedad constantes.

5.4.1 PANTALLAS LCD

Estas son las pantallas que utiliza el Microcontrolador como interfaz al Usuario. Muestran mensajes sobre la información del proyecto, pantallas que se indican en el momento en que se enciende el módulo, para luego entrar en el lazo infinito de lectura del sensor en donde se visualizará a través de la pantalla el valor de la temperatura y la humedad. Estas pantallas se muestran en la figura 5.1.



Figura 5.1 Pantallas del LCD

5.4.2 PROCEDIMIENTO PARA LAS PRUEBAS

El siguiente procedimiento se aplica tanto para la ventilación, calefacción, vaporización y extracción en el invernadero ya que todos estos sistemas interactúan para llegar al mismo objetivo. Cabe recalzar que se trabajará con las condiciones ambientales para llegar a los valores deseados.

1. Se instala el sensor de temperatura y humedad en el centro geométrico del invernadero.
2. Se instala la resistencia tubular en forma paralela a una entrada de aire del invernadero. Para ello se coloca un aislante térmico con el propósito de evitar que el calor generado por la resistencia deforme el material del cual esta construido el invernadero.
3. Se instalan los ventiladores. Uno en forma paralela a la resistencia para que impulse el aire a través de la resistencia e ingrese aire caliente al interior del invernadero o a su vez para cuando se requiera de ventilación. Y otro para controlar la humedad del invernadero y para realizar la ventilación si así es requerido.
4. Se instala la tubería por la cual ingresará el vapor generado por el vaporizador. Esto en la parte inferior de la pared sur.
5. Se registran los valores iniciales de temperatura y humedad.
6. Se enciende el dispositivo electrónico, el mismo que leerá los datos de humedad y temperatura del invernadero y en base a esa información controla en estado de los actuadores.
7. Se registran los datos de temperatura, humedad y tiempo hasta que el sistema llegue a estabilizarse en los puntos de temperatura a $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa de $65\% \pm 10\%$.

5.4.3 REGISTRO DE DATOS DE LA PRIMERA PRUEBA

En las tablas 5.1 y 5.2 se registran en la primera columna el valor de la temperatura en el interior del invernadero, en la segunda columna el valor de la humedad en el interior del invernadero, en la tercera columna el tiempo de prueba y en la cuarta columna la acción realizada y en las figuras 5.2 y 5.3 se muestran los resultados gráficos de las tablas ya expuestas.

REGISTRO DE DATOS DE LA PRIMERA PRUEBA								
TEMPERATURA		HUMEDAD	TIEMPO DE PRUEBA	ACCIÓN	ESTADO ACTUADORES			
[°C]	[°F]	[%]	[hh:mm:ss]		RESISTENCIA	VAPORIZADOR	VENT_IN	VENT_OUT
22	71,60	61	0:00:00	ENCENDER MÓDULO	OFF	OFF	OFF	OFF
22	71,60	59	0:02:00		ON	ON	ON	OFF
23	73,40	57	0:04:00		ON	ON	ON	OFF
24	75,20	55	0:06:00		ON	ON	ON	OFF
25	77,00	50	0:08:00		OFF	ON	ON	OFF
25	77,00	50	0:10:00		OFF	ON	ON	OFF
25	77,00	50	0:12:00		OFF	ON	ON	OFF
25	77,00	55	0:14:00		OFF	ON	ON	OFF
25	77,00	60	0:16:00		OFF	ON	ON	OFF
25	77,00	64	0:18:00	CONDICIÓN DESEADA	OFF	OFF	OFF	OFF
24	75,20	56	0:20:00	ABRIR PUERTA	ON	ON	ON	OFF
25	77,00	60	0:22:00		OFF	ON	ON	OFF
25	77,00	63	0:24:00		OFF	ON	ON	OFF
25	77,00	65	0:26:00		OFF	OFF	OFF	OFF
25	77,00	63	0:28:00		OFF	OFF	OFF	OFF
25	77,00	64	0:30:00		OFF	OFF	OFF	OFF
26	78,80	68	0:32:00	CERRAR PUERTA	OFF	OFF	ON	ON
25	77,00	65	0:34:00		OFF	OFF	OFF	OFF
25	77,00	63	0:36:00		OFF	OFF	OFF	OFF
25	77,00	66	0:38:00		OFF	OFF	OFF	OFF

Tabla 5.1 Registro de datos de la primera prueba del funcionamiento de los actuadores del invernadero

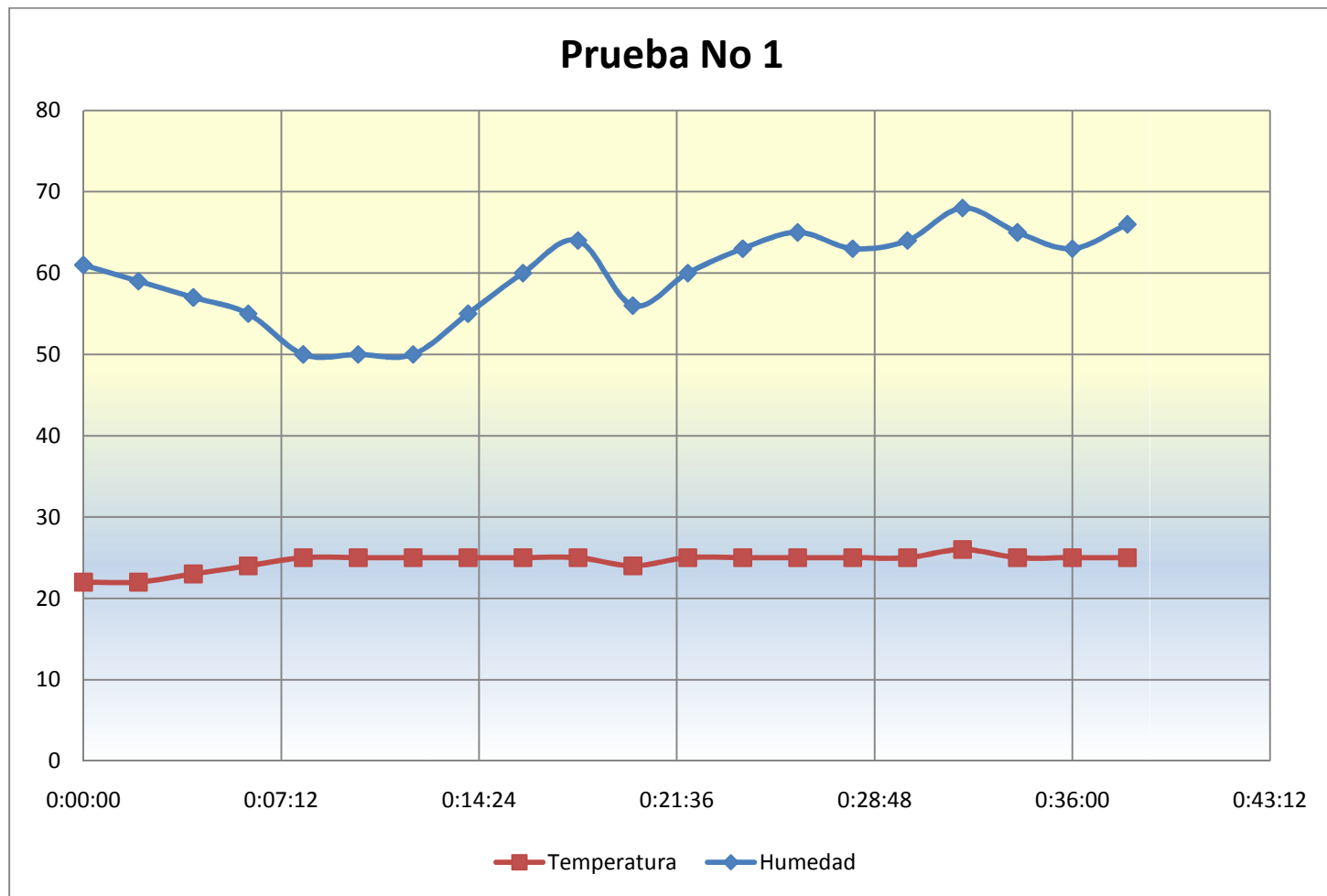


Figura 5.2 Valor de humedad y temperatura en la prueba No 1

REGISTRO DE DATOS DE LA SEGUNDA PRUEBA								
TEMPERATUR A		HUMEDA D	TIEMPO DE PRUEBA	ACCIÓN	ESTADO ACTUADORES			
[°C]	[°F]	[%]	[hh:mm:ss]		RESISTENCI A	VAPORIZADO R	VENT_I N	VENT_OU T
18	64,40	60	0:00:00	ENCENDER MÓDULO	OFF	OFF	OFF	OFF
19	66,20	60	0:02:00		ON	ON	ON	OFF
20	68,00	56	0:04:00		ON	ON	ON	OFF
21	69,80	54	0:06:00		ON	ON	ON	OFF
22	71,60	50	0:08:00		ON	ON	ON	OFF
24	75,20	50	0:10:00		ON	ON	ON	OFF
25	77,00	50	0:12:00		OFF	ON	ON	OFF
25	77,00	54	0:14:00		OFF	ON	ON	OFF
25	77,00	60	0:18:00		OFF	ON	ON	OFF
25	77,00	64	0:23:00	CONDICIÓN DESEADA	OFF	OFF	OFF	OFF
26	78,80	68	0:25:00	INCREMENTAR HUMEDAD	ON	OFF	ON	ON
25	77,00	70	0:27:00		OFF	OFF	ON	ON
25	77,00	72	0:29:00		OFF	OFF	ON	ON
25	77,00	76	0:31:00		ON	OFF	ON	ON
26	78,80	80	0:33:00		ON	OFF	ON	ON
25	77,00	77	0:35:00		ON	OFF	ON	ON
25	77,00	72	0:41:00		OFF	OFF	ON	ON
25	77,00	68	0:45:00		OFF	OFF	ON	ON
25	77,00	65	0:46:00		OFF	OFF	ON	ON
25	77,00	64	0:47:00		OFF	OFF	OFF	OFF

Tabla 5.2 Registro de datos de la segunda prueba del funcionamiento de los actuadores del invernadero

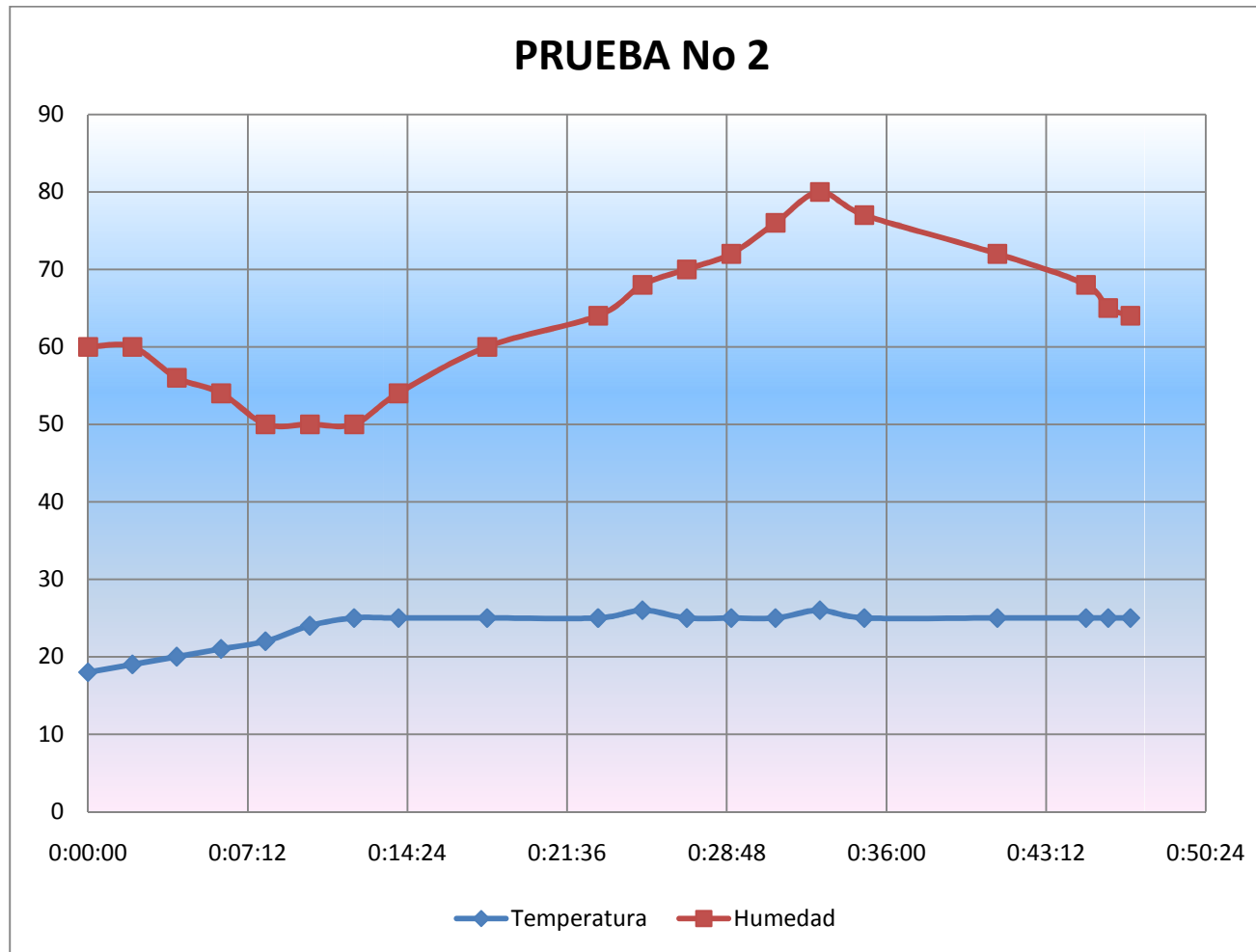


Figura 5.3 Valor de humedad y temperatura en la prueba No 2

Como se puede apreciar en los gráficos de la Temperatura vs. Tiempo y Humedad vs. Tiempo los actuadores entran en “acción” cada vez que las condiciones se salen de los límites inferior y superior establecidos como condiciones óptimas para el cultivo de rosas rojas de producción media.

En la primera prueba se aplica una perturbación al abrir la puerta del invernadero. Esto hace que la temperatura y humedad del sistema bajen su valor. Al realizar la lectura del sensor digital y compararlos con los valores deseados o *setpoint*, el microcontrolador enciende la resistencia, el ventilador de impulsión y el vaporizador para alcanzar dichos valores.

En la segunda prueba, con una temperatura y humedad interna del invernadero igual a las condiciones ambientales, se inicializa el módulo electrónico. Una vez que ha alcanzado las condiciones de estabilidad se introduce al sistema una perturbación para incrementar la humedad interna del invernadero. Como se puede apreciar en la tabla 5.2 se hace llegar al sistema a un valor igual al 80%. Al tener una humedad comprendida entre el 76% y 75% se puede controlar con la ventilación forzada, pero cuando se tiene una humedad mayor a 75% es imperativo encender el sistema de calefacción, esto con el propósito de calentar el aire, para reducir la humedad excedente en el invernadero.

5.5 PRUEBA DE LA INTERFAZ MICROCONTROLADOR-PC

En la comunicación serial se comprueba que los datos transmitidos y recibidos sean correctos y que se realizan a la velocidad apropiada, para verificar que la comunicación entre el microcontrolador y el computador se dé sin ningún problema. Este proceso se utiliza en la transmisión de datos hacia el computador.

La primera vez que se conecta el dispositivo electrónico al computador, este es reconocido por el computador y se instalan los controladores automáticamente tal como se muestra en la figura 5.4.

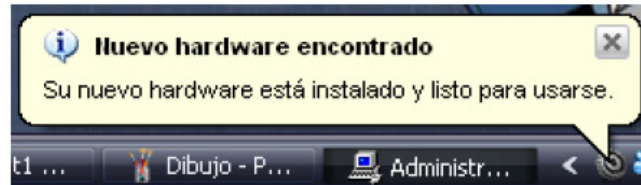
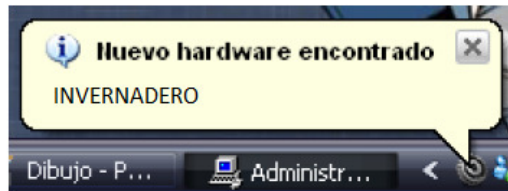


Figura 5.4 Dispositivo encontrado y listo para usarse

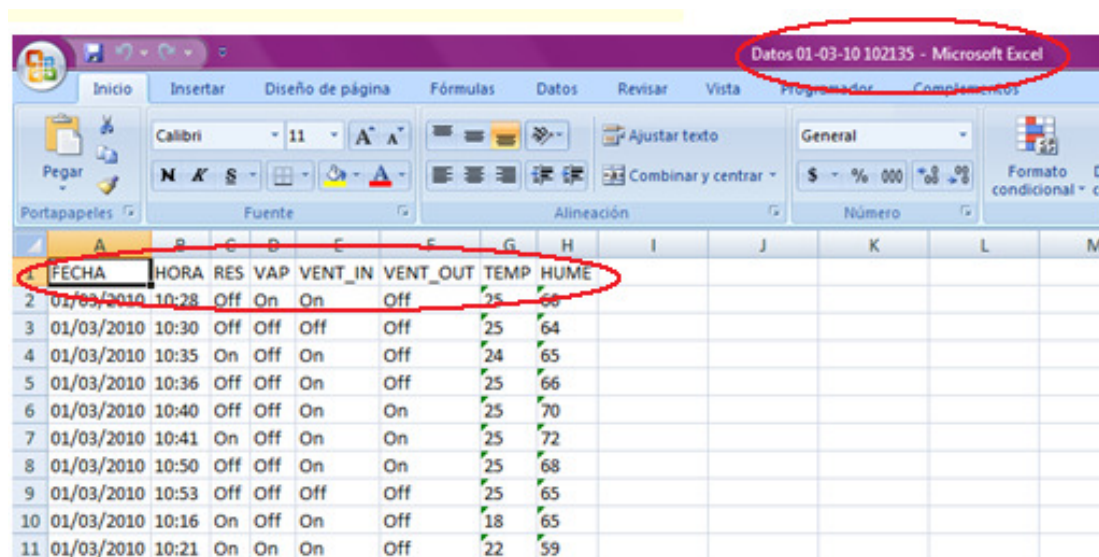
Luego se ejecuta la aplicación en Visual Basic, dentro de la pantalla principal se puede ver el estado de la conexión del dispositivo como se muestra en la figura 5.5, los datos que va recibiendo el computador a través del puerto USB, se guardan de forma automática los datos, hasta que se presione algún botón: Imprimir, Exportar o Gráfico Estadístico.



Figura 5.5 Formulario principal recibiendo datos

Al presionar el botón *Importar a Excel*, el código se encarga de abrir la base de datos y el recordset, que será quien almacene los datos, luego se crean los objetos para utilizar el Excel, esto es el libro de Excel para luego hacer la referencia a la Hoja en donde se guardarán los datos.

Se calcula el número de columnas y filas de la base de datos para luego traspasar los datos del recordset a la hoja de Excel. Luego se cierran la base de datos y el recordset. Se guarda el libro con el siguiente formato “*Datos dd-mm-aa hhmmss*”. Finalmente se eliminan las referencias de Excel en la aplicación. Todo el procedimiento da como resultado la pantalla mostrada en la figura 5.6.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	FECHA	HORA	RES	VAP	VENT_IN	VENT_OUT	TEMP	HUME					
2	01/03/2010	10:28	Off	On	On	Off	25	66					
3	01/03/2010	10:30	Off	Off	Off	Off	25	64					
4	01/03/2010	10:35	On	Off	On	Off	24	65					
5	01/03/2010	10:36	Off	Off	On	Off	25	66					
6	01/03/2010	10:40	Off	Off	On	On	25	70					
7	01/03/2010	10:41	On	Off	On	On	25	72					
8	01/03/2010	10:50	Off	Off	On	On	25	68					
9	01/03/2010	10:53	Off	Off	Off	Off	25	65					
10	01/03/2010	10:16	On	Off	On	Off	18	65					
11	01/03/2010	10:21	On	On	On	Off	22	59					

Figura 5.6 Libro generado en excel

Cuando se presiona el botón “*Imprimir*” el procedimiento es el siguiente: se recuperan los encabezados de cada columna, se configura la fuente de impresión para el encabezado. Luego se recorre los datos del datagrid agregándolos a una nueva hoja de impresión. Se puede apreciar en la figura 5.7 el documento enviado por la aplicación en la cola de impresiones de la impresora instalada en el computador.

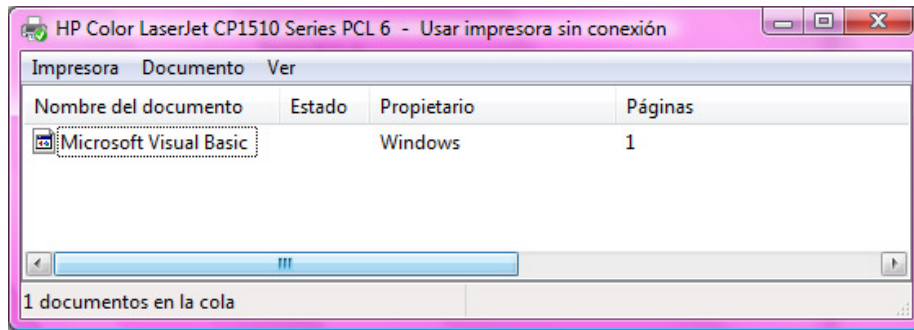


Figura 5.7 Resultado de presionar el botón imprimir

El tercer control es el botón “*Gráfico Estadístico*”, el cual abre un nuevo formulario que nos permite generar gráfico a través de un control llamado MSChart, con la opción de cambiar el tipo de gráfico generado. Para ello se debe llenar un recordset con los datos almacenado en la base de datos, se asigna el valor del estado para cada uno de los actuadores; es decir, un 1 si estuvo activado y un 0 si estuvo desactivado. Una vez agrupados el valor de los estados de los actuadores en la fecha de los eventos, son asignados al control MSChart que se encarga de generar el gráfico. Por defecto se genera un gráfico 3D Step como se muestra en la figura 5.8.

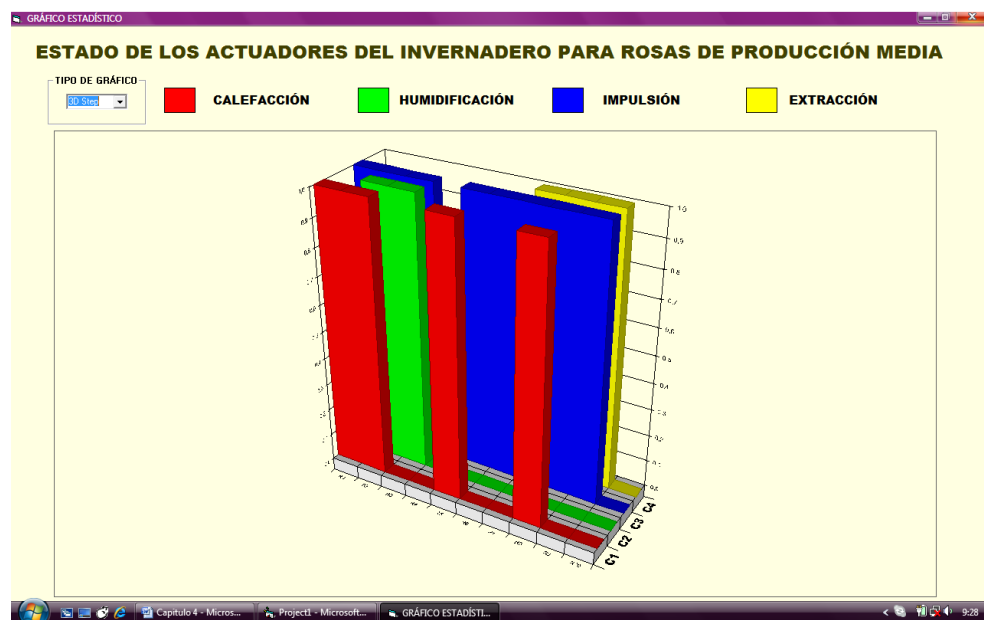


Figura 5.8 Gráfico estadístico generado por defecto

En el combobox situado en la parte superior izquierda del formulario, se puede cambiar el tipo de gráfico que se desee visualizar como los ejemplos de las figuras 5.9 y 5.10.

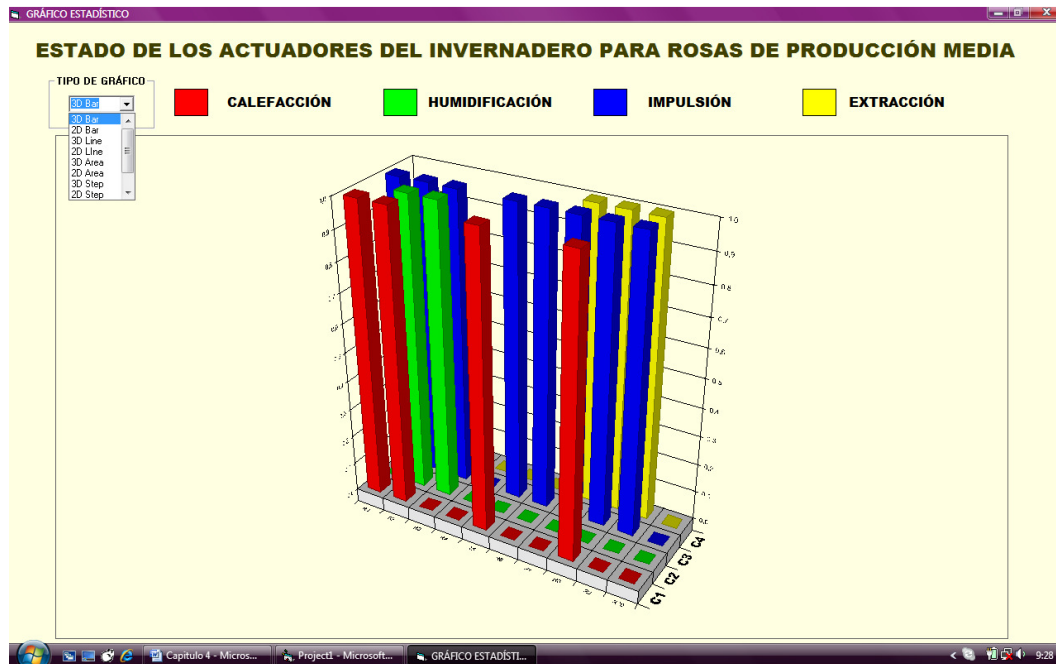


Figura 5.9 Ejemplo 1 tipo de gráfico 3D Bar

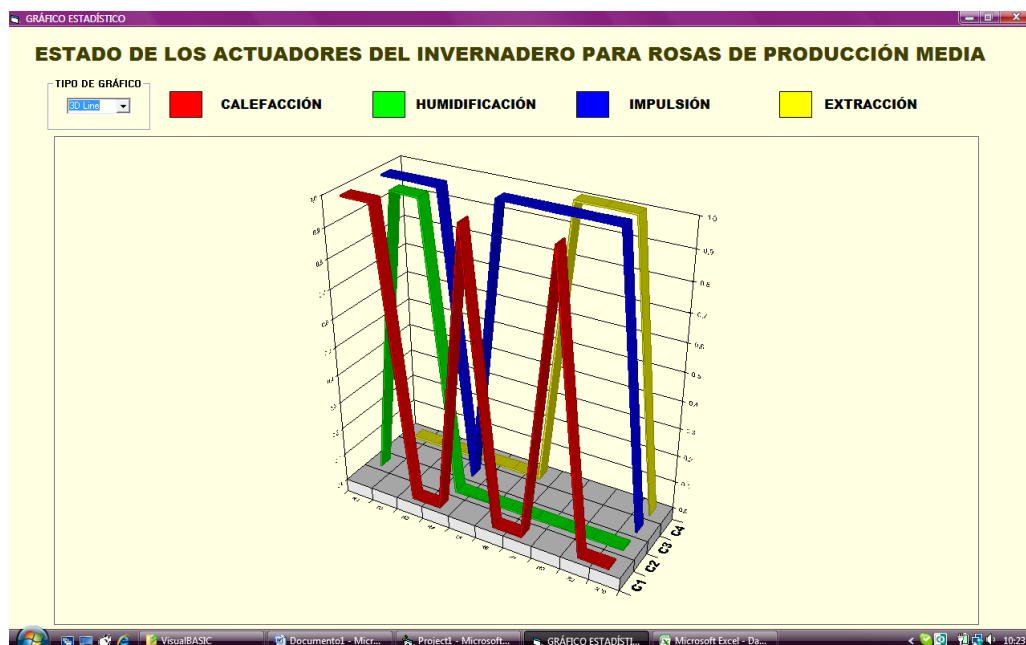


Figura 5.10 Ejemplo 2 tipo de gráfico 3D Line

Al ejecutar la aplicación desarrollada en Visual Basic 6.0 se logró establecer la comunicación con el dispositivo electrónico a través del puerto USB. Como se observó, en el momento en que uno o varios actuadores cambiaron su estado, activado-desactivado, inmediatamente el controlador envió los datos hacia el computador, el cual, a través de la aplicación almacenó estos datos en una base de datos creada en Access.

Se comprobó el correcto funcionamiento de los controles, como el botón “*Importar a Excel*”, el cual traspasó todos los datos almacenados en la base de datos a una nueva hoja de Excel y la almacenó en una carpeta llamada “*Excel*” con un nombre único que se basa en la fecha y hora en la que se creó el libro.

Otro de los controles es el botón “*Imprimir*”, el cual envió la base de datos a la impresora instalada en el computador.

Finalmente, el botón “*Gráfico Estadístico*”, permitió observar de una manera global e histórica el estado de los actuadores: resistencia tubular, vaporizador, ventilador de entrada y ventilador de salida. Se pudo apreciar dichos históricos con diferentes estilos de gráficos en dos dimensiones y tres dimensiones.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RESOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- El control automático de un invernadero, es un nuevo método que se está aplicando en nuestro país, dejando atrás el control manual. Ya que al mantener estable el ambiente del invernadero en factores como la temperatura, humedad, entre otros se ha logrado aumentar la producción en un 70%, dato que se ha obtenido de empresas que han implementado dicha tecnología.
- La utilización de microcontroladores PIC en la industria florícola tiene una aplicación muy amplia debido a su gran versatilidad, fácil programación y fácil adquisición.
- El prototipo es capaz de controlar los actuadores como son la resistencia tubular, el vaporizador, el ventilador de impulsión y el ventilador de extracción con el fin de lograr estabilidad en los valores de variables como son la temperatura y humedad relativa.
- La aplicación desarrollada en Visual Basic 6.0 da paso la comunicación del dispositivo con el computador permitiendo descargar información sobre el estado de los actuadores, a través de un entorno amigable que familiariza al usuario con la planta física del invernadero. Además con los datos obtenidos podría generar informes de producción, mano de obra requerida, etc.
- Al implementar un sistema electrónico se pueden obtener producciones abundantes sin incurrir en la utilización de agroquímicos mediante cultivos protegidos y controlados, ya que este sistema permite proporcionar a las plantas las condiciones óptimas requeridas por ellas.

- Para escoger la cubierta adecuada es necesario tener en cuenta la situación geográfica, las temperaturas máxima, mínima y media, las posibilidades de heladas, el régimen de vientos, la humedad relativa, el régimen de lluvias, la radiación solar, la especie que se va a sembrar.
- La humedad relativa del invernadero tiende a hacer subir los niveles de saturación cuando la temperatura del aire exterior se aproxima o excede al aire interior y el potencial de condensación es nulo. En estas condiciones la humedad relativa se controla por ventilación hasta que cae por debajo del nivel requerido. Si el aire exterior tiene un nivel elevado de humedad relativa, la ventilación debe complementarse con la calefacción artificial. Se ha comprobado que cada aumento de la temperatura del aire de un grado genera una caída próxima al 5% en la humedad relativa.

6.2 RECOMENDACIONES

- Debido a que el sistema de vaporización se tarda aproximadamente 45 minutos en emanar el vapor de agua, se recomienda conectar el vaporizador 45 minutos antes para poder ver un control automático más instantáneo a las variaciones o perturbaciones que afecten al sistema o invernadero.
- Para que la diferencia de la temperatura entre la zona próxima al sistema de calefacción y el otro extremo del invernadero sea menor, se recomienda que se usen tuberías perforadas para distribuir el aire. Para mejorar la uniformidad, el diámetro de las perforaciones deben aumentarse (y el espaciado de esas perforaciones debe disminuirse) en proporción a la distancia del quemador o del conducto principal.
- Verificar que no exista ninguna fuga de aire en las paredes del invernadero para que el control de la temperatura y humedad se efectúen efectivamente.
- Cuando se apague el módulo, se debe controlar que la temperatura de la resistencia no afecte al material del cual está hecho el invernadero.

- Se puede utilizar esta maqueta para seguir desarrollando en control de otras variables que intervienen en el cultivo de la rosas, como por ejemplo: control de iluminación y concentración de dióxido de carbono.

BIBLIOGRAFIA

LIBROS

- ALVARADO WILMER –TORRES JORGE , *Utilización de un PLC en el Control de in Sistema de Enfriamiento Evaporativo Aplicado a Oficinas*, Tesis, Quito Escuela Politécnica Nacional, 2001.
- ASHRAE, *Handbook Fundamentals*, 1997.
- ASHRAE, *Principles of Heating Ventilating and Air Conditioning*.
- CALDERON JUAN – SAMANIEGO OSCAR, *Sistema Didáctico de Refrigeración*, Tesis, Quito Universidad Tecnológica América, 2007.
- CENGEL, BOLES, *Termodinámica*, Segunda Edición, México, Mc Graw – Hill. 1996.
- CENGEL YUNUS, *Transferencia de Calor*, Segunda Edición, McGraw – Hill Interamericana, México, 2003.
- EDWARD G. PITA, *Acondicionamiento del Aire*, Compañía Editorial Continental, Segunda Edición, 1998.
- INAMHI, *Anuario Meteorológico*, Quito – Ecuador, Septiembre 2008 – Julio 2009.
- JUAN MANUEL PASCUAL M., *Diccionario Hola Ciencias.*, Susaeta Ediciones., 1993.
- MANRIQUE JOSÉ, *Termodinámica*, Alfaomega Grupo Editorial, S.A. de C.V, Tercera Edición, México, 1995

- ROY J. DOSSAT, *Principios de refrigeración*, México, Decimoquinta Edición, Compañía Editorial Continental, 1995.
- ROY J. DOSSAT, *Principios de refrigeración*, México, Decimoquinta Edición, Compañía Editorial Continental, 1980.

ENLACES DE INTERES

- http://es.wikipedia.org/wiki/Termodin%C3%A1mica#Primera_ley_de_la_termodin.C3.A1mica
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Termodin%C3%A1mica>
- <http://microsoft.com>
- http://nitc.ac.in/nitc/dept/ece/public_html/student/2N3055.pdf
- <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632c.pdf>
- <http://www.botanical-online.com/florhumedad.htm>
- <http://www.datasheetcatalog.net/cgi-bin/helo.pl?text=triac>
- <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/philips/BD139-16.pdf>
- <http://www.electro-tech-online.com/micro-controllers/101302-reading-output-co-detector-module-pic16f690-micrcontroller.html>
- <http://www.forosdeelectronica.com/proyectos/rele-estado-solido.htm>
- <http://www.infoagro.com/flores/flores/rosas.htm>
- <http://www.microsmasmicros.com>
- <http://www.mitecnologico.com/Main/EscalasDeTemperatura>
- <http://www.sureelectronics.net/>
- http://www.technologydynamicsinc.com/single_output/index.php