

Universidad del Valle de Guatemala

Facultad de ingeniería



Red de sensores de humedad y temperatura para invernadero

Trabajo de investigación presentado por Cesar Enrique Recinos Soto para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Electrónica.

Guatemala
2009

Red de sensores de humedad y temperatura para invernadero

Universidad del Valle de Guatemala

Facultad de ingeniería

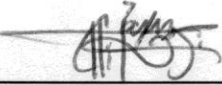


Red de sensores de humedad y temperatura para invernadero

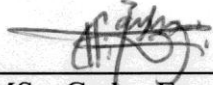
Trabajo de investigación presentado por Cesar Enrique Recinos Soto para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Electrónica.

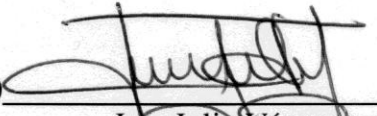
Guatemala
2009

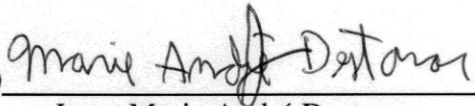
Vo.Bo.:

(f) 
MSc. Carlos Esquit

Tribunal:

(f) 
MSc. Carlos Esquit

(f) 
Ing. Julio Vásquez

(f) 
Inga. Marie André Destarac

Fecha de aprobación: 12 de noviembre de 2009.

Dedicatoria

A Dios

A mi familia

A los Ings:

Estuardo Mancio

Marie Andree Destarac

Carlos Tercero

Julio Vasquez

Manuel Coter

Carlos Esquit

César Castañeda

Yolanda Nieto.

A todas las personas que colaboraron en este proyecto.

Prefacio

La idea de automatizar un invernadero surgió del compromiso que el estudiante de ingeniería electrónica tiene como creador de herramientas útiles, que puedan ayudar en este caso a impulsar el desarrollo de la agricultura y del país en general.

Dicho proyecto beneficiará a estudiantes de ingeniería agro forestal de la Universidad del Valle de Guatemala (UVG), y a la vez tendrá continuación por parte de promociones futuras.

Por esta razón se pensó en el invernadero, que reúne ambas características.

Agradezco a mi compañero de trabajo José Miguel Juárez por su valiosa contribución en el módulo de actuadores, y su apoyo hacia mi parte, ya que el éxito del proyecto dependió en gran medida, de nuestra integración.

Contenido

Prefacio.....	vi
Lista de figuras	xii
Lista de tablas	xiv
Resumen.....	xvii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS	2
A. Generales.....	2
B. Específicos.....	2
III. MARCO TEÓRICO.....	3
A. Atlas climatológico de la República de Guatemala.....	3
B. Definiciones importantes de humedad y temperatura.....	4
1. Temperatura máxima.....	4
2. Temperatura mínima.....	4
3. Relación entre calor y temperatura	4
4. Conductibilidad térmica	5
5. Diferencia entre humedad absoluta y relativa.....	5
6. Relación entre humedad y temperatura.....	5
7. La saturación.....	6
C. Gráfica psicrométrica y definiciones relacionadas	6
1. Temperatura de bulbo seco.....	7
2. Temperatura de bulbo mojado.....	7
3. Punto de condensación.....	8
4. Proporción de humedad.....	8
D. Causas de variación en la temperatura a nivel mundial.....	8
1. Variación diurna.....	8
2. Variación de la temperatura con la latitud.....	8
3. Variación estacional	8

4.	Variaciones con los tipos de superficie terrestres	8
5.	Variaciones con la altura	9
E.	Consideraciones a tener con los sensores.....	9
1.	Posicionamiento de sensores	10
2.	Estructuras para montar sensores de medición de temperatura ambiente y humedad relativa	10
a)	Escudo de radiación solar	10
F.	Consideraciones acerca del tamaño del invernadero	11
G.	Control de humedad y temperatura.....	11
H.	I ² C	12
1.	Generalidades del protocolo I ² C.....	12
a)	Niveles de señal.....	14
b)	Hardware adicional para hacer funcionar la comunicación I ² C.....	14
c)	Elementos que componen la comunicación I ² C	14
d)	Funcionamiento general de la comunicación I ² C.....	17
2.	Extensor del bus I ² C- P82B715.....	18
a)	Diseño de una conexión punto- multipunto	20
b)	Descripción de su funcionamiento	21
3.	Sensor TC74, para medición de temperatura ambiente.....	21
a)	Descripción de su funcionamiento	22
I.	Sensor de medición de humedad relativa, HS1101LF.....	23
J.	Circuito de oscilación estable	25
IV.	DELIMITACIÓN DEL TEMA.....	27
V.	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	28
A.	Implementación a nivel de laboratorio.....	29
1.	Fase de investigación	29
2.	Fase de diseño circuito	30
a)	Circuito principal	30
b)	Circuitos de los sensores	32
c)	Obtención de humedad relativa.....	32
3.	Fase de diseño software.....	35
a)	Programa micro controlador	35

b)	Programa computador.....	38
c)	Tramas para comunicación bidireccional entre micro controlador y computador.....	39
B.	Implementación dentro del invernadero.....	42
1.	Fase de investigación.....	43
2.	Fase de diseño circuito.....	43
a)	Circuito principal.....	44
b)	Circuitos de los sensores.....	45
c)	PCB's.....	46
3.	Fase de montaje en invernadero.....	47
a)	Colocación de la canaleta dentro del invernadero.....	47
b)	Introducción del cable dentro de la canaleta.....	48
c)	Protección para circuitos de sensores.....	50
d)	Montaje de los sensores y circuito principal dentro del invernadero.....	52
e)	Calibración de sensores.....	53
f)	Unión de la red de sensores con el módulo de actuadores.....	54
VI.	RESULTADOS.....	55
A.	Curvas de sensores de temperatura en °C.....	56
1.	Sensor de temperatura 1.....	56
2.	Sensor de temperatura 2.....	58
3.	Sensor de temperatura 3.....	59
4.	Sensor de temperatura 4.....	60
5.	Gráficas de la variación de temperatura de los sensores de la red vs los sensores de referencia.....	62
B.	Curvas de sensores de humedad en conteo de pulsos.....	63
1.	Sensor de humedad 1.....	63
2.	Sensor de humedad 2.....	64
3.	Sensor de humedad 3.....	65
4.	Sensor de humedad 4.....	66
C.	Obtención de K promedio.....	68
1.	Sensor de humedad 1.....	68
a)	Obtención de frecuencia.....	68
b)	Obtención de constante K.....	69
2.	Sensor de humedad 2.....	71
a)	Obtención de frecuencia.....	71

b)	Obtención de constante K.....	72
3.	Sensor de humedad 3.....	75
a)	Obtención de frecuencia.....	75
b)	Obtención de constante K.....	76
4.	Sensor de humedad 4.....	78
a)	Obtención de frecuencia.....	78
b)	Obtención de constante K.....	80
D.	Curvas de sensores de humedad en porcentaje de HR.....	82
1.	Sensor de humedad 1.....	82
2.	Sensor de humedad 2.....	83
3.	Sensor de humedad 3.....	85
4.	Sensor de humedad 4.....	86
5.	Gráficas de la variación de humedad relativa de los sensores de la red vs los sensores de referencia ..	88
E.	Variación de temperatura ambiente con respecto al tiempo	89
F.	Variación de humedad relativa con respecto al tiempo	90
G.	Variación de humedad relativa y temperatura ambiente con respecto al tiempo.....	90
1.	Rango de la proporción de humedad	91
H.	Programa del computador	92
VII.	DISCUSIÓN.....	97
VIII.	CONCLUSIONES	102
IX.	RECOMENDACIONES	103
X.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104
XI.	APÉNDICE.....	107
A.	Familias de sensores de medición de temperatura ambiente	107
B.	Familias de sensores de medición de humedad relativa.....	111
C.	Código del micro controlador hecho en PIC CCS	115
D.	Código del computador hecho en Visual Basic.....	135
1.	Forma principal	135
2.	Forma hija 1: Actuadores.....	143

3.	Forma hija 2: Calibración.....	144
XII.	GLOSARIO.....	146

Lista de figuras

Figura No.

1. Isotermas de temperatura promedio anual, en grados Celsius, del departamento de Guatemala [11].....	3
2. Niveles de humedad relativa promedio anual, del departamento de Guatemala [12].....	4
3. Gráfica psicrométrica [27].....	7
4. Armazón por la que pueden introducirse los sensores y a la vez quedar protegidos [13].....	10
5. Carcasa del escudo de radiación solar [14].	10
6. Representación de la forma en que se pueden unir diversos dispositivos en el bus I ² C [22].....	13
7. Estado eléctrico cuando se produce un 1 lógico [17].	14
8. Estado eléctrico cuando se produce un 0 lógico [17].	14
9. Valores de resistencias a usar según velocidades del bus I ² C [17].....	14
10. Condición de inicio [17].....	15
11. Condición de parada [17].	15
12. Condición de reinicio [17].	15
13. Detección del bit transmitido [17].	16
14. ACK [17].	16
15. NACK [17].	16
16. Diagrama de bloques de comunicación I ² C [9].	17
17. Trama entre maestro y esclavo [9].	18
18. Límites de capacitancia del bus I ² C [21].	19
19. Conexión entre varios dispositivos esclavos, por medio del extensor P82B715 [21].	20
20. Circuito de oscilación estable [10].	26
21. Organización general del proyecto por diagrama de bloques.....	28
22. Diagrama de bloques de la implementación dentro del laboratorio.	29
23. Circuito desarrollado dentro del laboratorio.....	30
24. Terminales del Pic18f4550 empleadas para el control de la red de sensores.....	31
25. Circuito del sensor de temperatura para primer diseño.....	32
26. Circuito del sensor de humedad para primer diseño.....	32
27. Diagrama de la obtención de humedad relativa a nivel general.	33
28. Diagrama de la obtención de humedad relativa dentro del micro controlador.	35
29. Procedimiento para establecer comunicación con el módulo de actuadores.....	36

30. Formato de trama para comunicación con módulo de actuadores.....	36
31. Diagrama de bloques del funcionamiento del programa del micro controlador.	37
32. Diagrama de la recepción de datos del programa del computador.....	38
33. Casos de tramas para comunicación entre micro controlador y ordenador.....	39
34. Trama para enviar los parámetros de calibración desde la compu al pic.	40
35. Trama para enviar los parámetros de calibración desde el pic a la compu.....	40
36. Trama para enviar la configuración desde la compu al pic.	41
37. Trama para enviar las mediciones desde el pic a la compu.	41
38. Trama para pedir los parámetros de calibración desde la compu al pic.....	41
39. Diagrama de bloques de la implementación dentro del invernadero.	42
40. Diagrama de la red de sensores de temperatura.	43
41. Diagrama de la red de sensores de humedad.	43
42. Circuito desarrollado para trabajar en el invernadero.....	44
43. Circuito del sensor de temperatura para segundo diseño.	45
44. Circuito del sensor de humedad para segundo diseño.	46
45. Diseño del PCB del circuito principal.	46
46. Diseño del PCB del circuito de humedad.	47
47. Diseño del PCB del circuito de temperatura.	47
48. Distribución de ambos tipos de sensores dentro del invernadero.	48
49. Conexiones en cable con conector rj11.	49
50. Numeración de canales en terminal Rj11 macho.	49
51. Colocación de los circuitos de los sensores.....	51
52. Tapones de silicón.	51
53. Protección de sensores de humedad y temperatura.....	52
54. Montaje de sensores en la costanera.	52
55. Pasos seguidos para la toma de mediciones de la red para su posterior calibración.	53
56. Ubicación de los sensores de la red y los de referencia para la toma de mediciones.	53
57. Unión de ambos módulos en el invernadero.	54
58. PCB del circuito principal.....	55
59. PCB del circuito del sensor de temperatura.	55
60. PCB del circuito del sensor de humedad.....	56
61. Caja del circuito principal.	56
62. Gráfica de temperatura de la red vs temperatura de referencia (°C).	62

63. Gráfica de temperatura promedio de la red vs temperatura de referencia (°C).	63
64. Gráfica de humedad relativa de la red vs humedad relativa de referencia (%).....	88
65. Gráfica de humedad relativa promedio de la red vs humedad relativa de referencia (%).....	89
66. Variación de temperatura a través del tiempo.....	89
67. Variación de temperatura a través del tiempo.....	90
68. Variación de temperatura y humedad relativa en el tiempo.	90
69. Interfaz gráfica encargada, de interpretar la información proveída por el micro controlador.	93
70. Submenú para calibración de sensores.....	95
71. Submenú para configurar setpoints.	95
72. Empaquetados de los sensores de medición de temperatura ambiente, mencionados anteriormente [15] [19].....	111

Lista de tablas

Tabla No.

1. Vapor de saturación a una determinada temperatura [6].	6
2. Información respecto al protocolo I ² C [9] [22].	12
3. Información respecto al extensor P82B715 [21].	19
4. Información respecto al sensor TC74 [19].....	21
5. Conversiones de temperatura ambiente, a su correspondiente valor digital [19].	23
6. Información respecto al sensor HS1101LF [10].	23
7. Resultados de utilizar la ecuación (8) [10].....	24
8. Código de colores parte 1.	50
9. Código de colores parte 2.	50
10. Caracterización estática del sensor de temperatura 1 en °C.....	57
11. Continuación de la caracterización estática del sensor de temperatura 1.	58
12. Caracterización estática del sensor de temperatura 2 en °C.....	58
13. Continuación de la caracterización estática del sensor de temperatura 2.	59
14. Caracterización estática del sensor de temperatura 3 en °C.....	59
15. Continuación de la caracterización estática del sensor de temperatura 3.	60
16. Caracterización estática del sensor de temperatura 4 en °C.....	61

17. Continuación de la caracterización estática del sensor de temperatura 4.	62
18. Relación entre humedad relativa y la cantidad de pulsos medidos para el sensor 1.....	63
19. Relación entre humedad relativa y la cantidad de pulsos medidos para el sensor 2.	64
20. Relación entre humedad relativa y la cantidad de pulsos medidos para el sensor 3.....	65
21. Relación entre humedad relativa y la cantidad de pulsos medidos para el sensor 4.....	67
22. Conversión de conteo de pulsos a frecuencia para el sensor 1.....	68
23. Obtención de la constante K para una variación de humedad para el sensor 1.....	69
24. Continuación de la obtención de la constante K para una variación de humedad para el sensor 1.....	70
25. K promedio del sensor de humedad 1.	71
26. Conversión de conteo de pulsos a frecuencia para el sensor 2.....	71
27. Obtención de la constante K para una variación de humedad para el sensor 2.....	73
28. Continuación de la obtención de la constante K para una variación de humedad para el sensor 2.....	74
29. K promedio del sensor de humedad 2.	75
30. Conversión de conteo de pulsos a frecuencia para el sensor 3.....	75
31. Obtención de la constante K para una variación de humedad para el sensor 3.....	76
32. Continuación de la obtención de la constante K para una variación de humedad para el sensor 3.....	77
33. K promedio del sensor de humedad 3.	78
34. Conversión de conteo de pulsos a frecuencia para el sensor 4.....	79
35. Obtención de la constante K para una variación de humedad para el sensor 4.....	80
36. Continuación de la obtención de la constante K para una variación de humedad para el sensor 4.....	81
37. K promedio del sensor de humedad 4.	81
38. Humedad relativa obtenida a partir del procesamiento de la señal del sensor 1.	82
39. Caracterización estática del sistema empleado para la conversión de la señal del sensor 1 a humedad relativa.	83
40. Humedad relativa obtenida a partir del procesamiento de la señal del sensor 2.	83
41. Caracterización estática del sistema empleado para la conversión de la señal del sensor 2 a humedad relativa.	84
42. Humedad relativa obtenida a partir del procesamiento de la señal del sensor 3.	85
43. Caracterización estática del sistema empleado para la conversión de la señal del sensor 3 a humedad relativa.	86
44. Humedad relativa obtenida a partir del procesamiento de la señal del sensor 4.	86
45. Caracterización estática del sistema empleado para la conversión de la señal del sensor 4 a humedad relativa.	88

46. “Humidity ratio” de las temperaturas y humedades relativas de la Figura 68.	91
47. Características de varios sensores de medición de temperatura ambiente [15].....	107
48. Características de varios sensores de medición de temperatura ambiente [15] [8].	108
49. Características de varios sensores de medición de temperatura ambiente [8].	109
50. Características de varios sensores de medición de humedad relativa [8].	111
51. Características de varios sensores de medición de humedad relativa [8].	113
52. Característica de varios sensores de medición de humedad relativa [8] [3].....	114

Resumen

La automatización del invernadero de la Universidad del Valle de Guatemala, nace con el objetivo de crear una red de actuadores controlada electrónicamente a través de una red de sensores de humedad y temperatura. La red de actuadores se implementó como trabajo de graduación de un estudiante de ingeniería electrónica. Este trabajo consiste en el desarrollo de la red de sensores.

Para implementar la red de sensores se utilizaron 4 transductores HS1101LF del fabricante HUMIREL para medición de humedad relativa, y 4 transductores TC74 del fabricante MICROCHIP para medición de temperatura ambiente. Los sensores se distribuyeron en diferentes lugares dentro del invernadero, colocados en 4 macetas, colgados de un cable que se colocó dentro de una estructura sostenida al techo.

Para el control de la red y captura de mediciones se empleó el micro controlador PIC18F4550 del fabricante MICROCHIP. Todas las mediciones obtenidas se transmiten de forma serial a un computador para su interpretación por medio de un software con interfaz gráfica.

Se logró implementar un sistema de medición de temperatura que funciona con rango de 0°C a 50°C y exactitud del 1.6% y un sistema de medición de humedad relativa con rango de 0% a 100% con exactitud del 4%. La interfaz del software desarrollado muestra un diagrama de la instalación en el invernadero y ofrece funciones de monitorización, captura de datos hacia una hoja de Microsoft Excel y calibración de los transductores.

La implementación de la red de sensores de humedad y temperatura está sirviendo para obtener mediciones precisas y monitoreo continuo, que pueden contribuir a la investigación en los cultivos.

I. INTRODUCCIÓN

En Guatemala, al igual que en otros países, se han utilizado invernaderos para brindar a los cultivos protección contra plagas además de un ambiente adecuado que favorezca su crecimiento y desarrollo.

Dichos invernaderos, se han desarrollado con fines comerciales y educativos. Por ejemplo Popoyan, una institución comercial, cuenta con estructuras totalmente automatizadas, donde principalmente se cultivan pilones de melón para exportación. Asimismo, existen los enfocados hacia usos educativos entre los cuales cabe mencionar el ubicado en la Universidad de San Carlos de Guatemala, cuyo objetivo principal es proteger los cultivos de plagas, mas no así mantenerlos en un ambiente controlado. Y es aquí donde se incluye el del departamento de agroforestal de la Universidad del Valle de Guatemala, creado en 1982, donde el estudiante invertía tiempo monitoreando humedad, y temperatura por observación. También manejaba manualmente el encendido y apagado de un extractor y un sistema de riego por goteo. Además, debía velar por otros aspectos biológicos esenciales para la supervivencia de los cultivos [16].

Ante el continuo deterioro de la instalación y la creciente dificultad para realizar investigaciones, surge la necesidad de automatizar el invernadero y remodelarlo con este trabajo de investigación titulado *Red de sensores de humedad y temperatura para invernadero*, monitoreando a tiempo completo la humedad relativa y la temperatura ambiente.

II. OBJETIVOS

A. Generales

- Realizar parte de la automatización del invernadero de la Universidad del Valle de Guatemala.
- Mejorar las herramientas educativas de la UVG, permitiendo que la información de los sensores de humedad y temperatura esté en formato electrónico para su interpretación.

B. Específicos

- Monitorizar a tiempo completo la humedad relativa y temperatura ambiente dentro del invernadero, a través de un sistema electrónico.
- Comunicar las mediciones a un módulo de actuadores para que automáticamente se tomen acciones que permitan la supervivencia del cultivo, sin necesidad de supervisión humana.
- Brindar una adecuada representación de los parámetros medidos en el ordenador para que los estudiantes de Ingeniería Agroforestal puedan realizar sus prácticas eficazmente.

III. MARCO TEÓRICO

A. Atlas climatológico de la República de Guatemala

Se utilizaron los mapas mostrados en las Figuras 1 y 2, con el propósito de obtener niveles de temperatura y humedad promedio registradas en Guatemala, para estar consientes de cuanto podía variar el clima exterior promedio con respecto al mantenido dentro del invernadero.

Figura No. 1 Isothermas de temperatura promedio anual, en grados Celsius, del departamento de Guatemala [11].

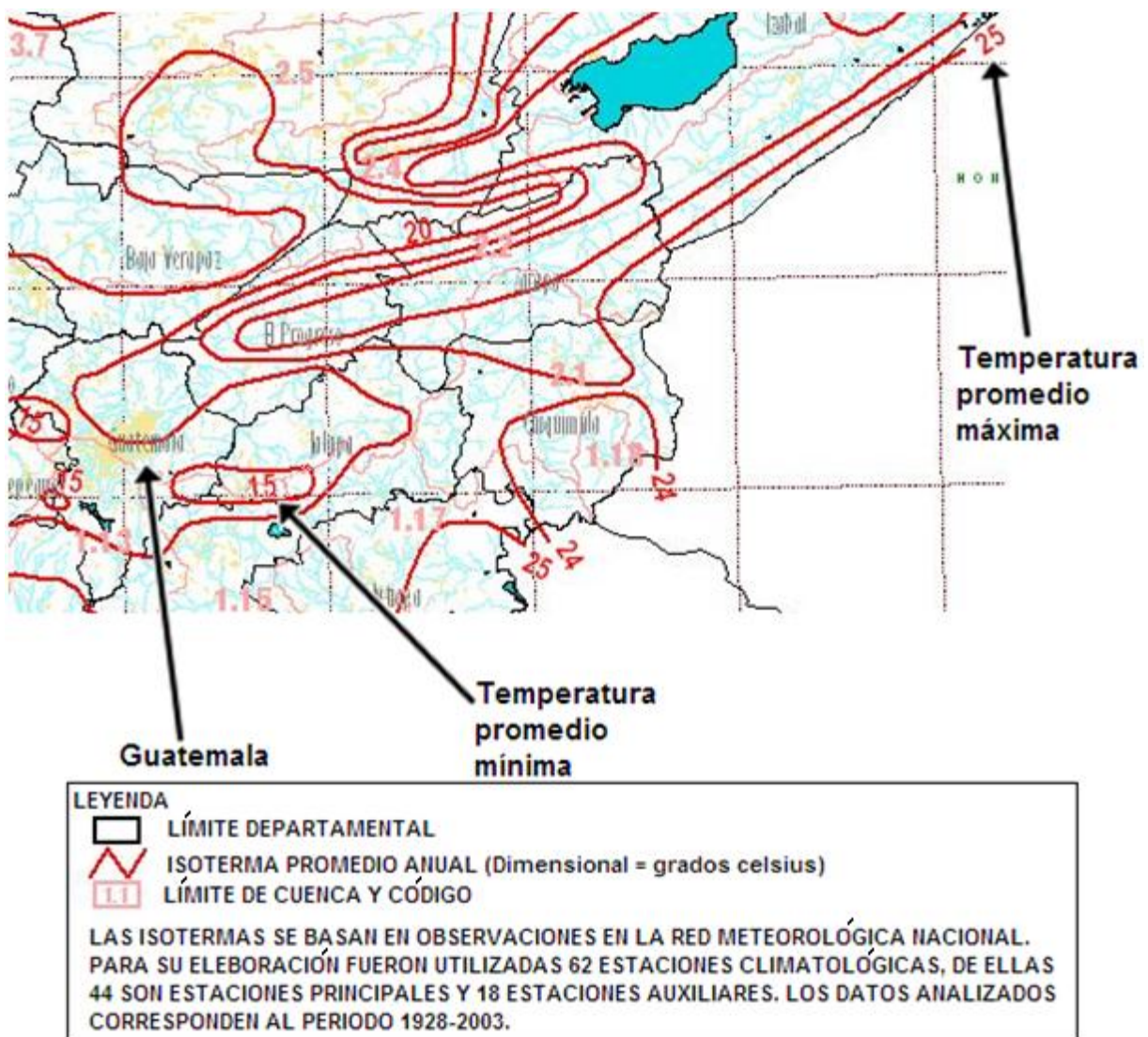
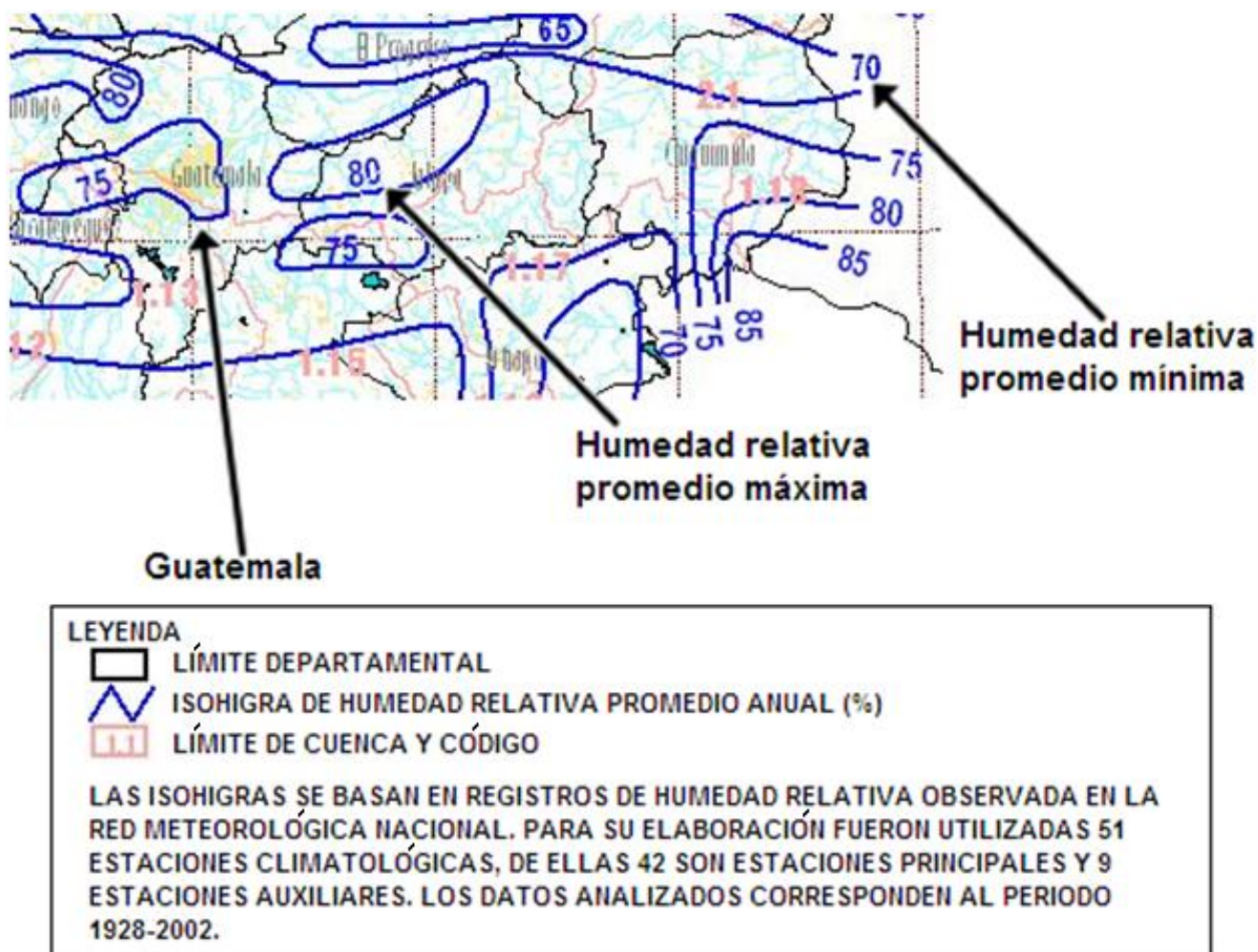


Figura No. 2 Niveles de humedad relativa promedio anual, del departamento de Guatemala [12].



B. Definiciones importantes de humedad y temperatura

1. **Temperatura máxima.** Es la mayor temperatura registrada en un día [26].
2. **Temperatura mínima.** Es la menor temperatura registrada en un día [26].
3. **Relación entre calor y temperatura.** Todos los cuerpos están constituidos por moléculas que se encuentran en continuo movimiento. Pero al calentar un cuerpo su movimiento molecular aumenta y se vuelve desordenado causando colisiones entre las mismas

lo que produce un aumento de calor dentro del cuerpo que por conducción se transmite por todo el [4].

La energía que da lugar al movimiento de las moléculas se define como calor y la medida de esta actividad molecular se denomina temperatura [4].

4. **Conductibilidad térmica.** Cuando se calienta un cuerpo en una parte, el calor se propaga a las regiones que son próximas y la diferencia de temperatura entre el punto calentado directamente y otro situado a cierta distancia es tanto menor cuando mejor conductor del calor es dicho cuerpo. Si la conductibilidad térmica de un cuerpo es pequeña, la transmisión del calor se manifiesta por un descenso rápido de la temperatura entre el punto calentado y otro próximo. Tal es el caso del vidrio, la porcelana, el caucho, etc. En el caso contrario, por ejemplo con metales como el cobre y la plata, la conductibilidad térmica es muy grande y la disminución de temperatura entre un punto calentado y el otro próximo es muy pequeño [26].

5. **Diferencia entre humedad absoluta y relativa.** Es muy difícil medir directamente la cantidad de agua presente en la atmósfera, por lo que se recurre a calcular cuánto vapor de agua existe expresado como porcentaje de la cantidad máxima que puede contener el aire saturado a una determinada temperatura (la siguiente ecuación) [25].

$$\text{Humedad Relativa} = \frac{\text{Vapor de agua presente en el aire}}{\text{Vapor de agua requerido para saturar el aire a un determinada temperatura}} \times 100\% \quad (1)$$

[25]

Este porcentaje resulta ser un dato más significativo, a efectos comparativos que la humedad absoluta, que se define como el peso en gramos del agua contenida en un metro cúbico de aire [25].

6. **Relación entre humedad y temperatura.** El contenido de agua en la atmósfera depende, principalmente, de la temperatura. Cuanto más caliente está una masa de aire, mayor es la cantidad de vapor de agua que puede retener, ver la Tabla 1. En contrapartida, a

temperaturas bajas puede almacenar menos vapor de agua. Cuando una masa de aire caliente se enfría, por la causa que fuere, se desprende del vapor que le sobra en forma de precipitación [25].

Tabla No. 1 Vapor de saturación a una determinada temperatura [6].

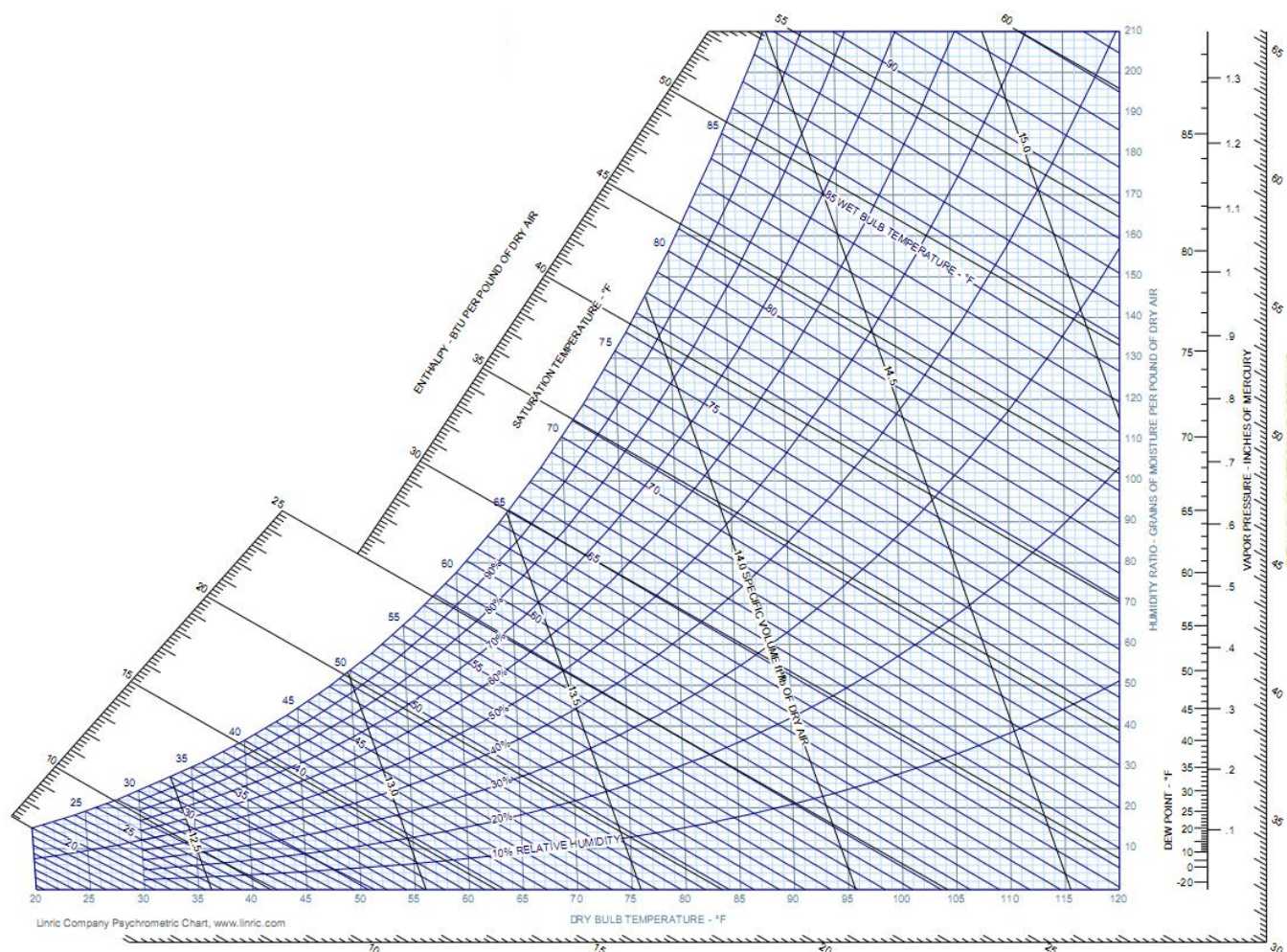
Temp (°C)	Temp (°F)	Densidad de vapor de saturación (gm/m ³)
-10	14	2.36
0	32	4.85
5	41	6.8
10	50	9.4
15	59	12.83
20	68	17.3
25	77	23
30	86	30.4
40	104	51.1
60	140	130.5
80	176	293.8

7. **La saturación.** Cuando una masa de aire contiene la máxima cantidad de vapor de agua admisible a una determinada temperatura, es decir, que la humedad relativa llega al cien por ciento, el aire está saturado. Si estando la atmósfera saturada se le añade más vapor de agua, o se disminuye su temperatura, el sobrante se condensa [25].

C. Gráfica psicrométrica y definiciones relacionadas

Describe todas las posibles combinaciones de temperatura, contenido de humedad, densidad y energía del aire a un tiempo específico (se muestra en la Figura 3).

Figura No. 3 Gráfica psicrométrica [27].



1. **Temperatura de bulbo seco.** Temperatura medida con un termómetro estándar, que está representada por líneas verticales en la gráfica, sobre el eje de las abscisas, aumentando de izquierda a derecha [7].

2. **Temperatura de bulbo mojado.** Se mide rodeando el termómetro con un trapo mojado, y tomando mediciones conforme el agua se evapora del mismo, por lo que siempre exhibe temperaturas inferiores a las del bulbo caliente, y el único momento en que son iguales es al haber 100% de humedad relativa. Está representada en la gráfica por líneas diagonales que terminan en la esquina superior derecha [7].

3. **Punto de condensación.** Corresponde a la temperatura a la que el aire está completamente saturado, y donde la temperatura de bulbo seco y mojado son iguales. En la gráfica está representada sobre la curva que indica el 100% de humedad relativa [7].

4. **Proporción de humedad.** Difiere de la humedad relativa en que es la cantidad de vapor de agua, por peso que hay en el aire. Está representado en la gráfica por las líneas que corren horizontalmente, aumentando de abajo hacia arriba [7].

D. Causas de variación en la temperatura a nivel mundial

1. **Variación diurna.** Se define como el cambio en la temperatura, entre el día y la noche, producido por la rotación de la tierra [26].

2. **Variación de la temperatura con la latitud.** Es debida a que el ángulo de incidencia de los rayos solares varía con la latitud geográfica [26].

3. **Variación estacional.** Esta característica de la temperatura se debe al hecho que la tierra circunda al Sol, en su órbita, una vez al año, dando lugar a las cuatro estaciones: verano, otoño, invierno y primavera. (En Guatemala solo se da verano e invierno) [26].

4. **Variaciones con los tipos de superficie terrestre.** Está relacionada con las diferentes capacidades de absorción y emisión de radiación entre los elementos [26]. Por ejemplo, enfocándose en los suelos, los hay muy húmedos, como pantanos o ciénagas, que atenúan considerablemente las variaciones de temperatura.

También la vegetación espesa tiende a atenuar los cambios de temperatura, debido a que contiene bastante agua (dándose aproximadamente una diferencia entre las temperaturas máximas y mínimas de 10°C, o menos) [26].

Por otro lado, las regiones desérticas o áridas permiten grandes variaciones en la temperatura (dándose aproximadamente una diferencia entre las temperaturas máximas y mínimas de 40°C, o más) [26].

5. **Variaciones con la altura.** A través de la primera capa de la atmósfera, llamada troposfera, la temperatura decrece normalmente con la altura [26]. Este decrecimiento de la temperatura con la altura recibe la denominación de Gradiente Vertical de Temperatura (G.V.T.), definido como un cociente entre la variación de la temperatura y la variación de la altura [26]. En la troposfera el G.V.T. promedio es de aproximadamente $6.5^{\circ}\text{C} / 1000\text{ m}$ [26].

E. Consideraciones a tener con los sensores

Un sensor de temperatura produce una salida, sea analógica o digital, que depende de la temperatura del sensor. El calor es conducido al elemento de sensibilidad a través del empaquetado del sensor y sus terminales de metal [23].

En general, un sensor en un empaquetado metálico (como el LM35 en un TO46), tendrá una trayectoria térmica dominante a través de su empaquetado. Por lo tanto será más influenciado por la temperatura del aire (esta sensibilidad se puede incrementar sujetándole un disipador de calor) [23].

Para sensores en empaquetado plástico como el TO-92, SO-8, y SOT-23, sus terminales proveen la trayectoria térmica dominante. Entonces al ser montados en un tablero, harán un buen trabajo en medir la temperatura del circuito (especialmente en las marcas donde fueron soldadas sus terminales). Si la temperatura del tablero es muy cercana a la temperatura ambiente (esto es si el circuito no posee generadores de calor montados), entonces la temperatura del sensor también será muy cercana a la temperatura ambiente. En consecuencia tendrá un menor efecto con la temperatura del aire, por lo que tendrá que ser colocado en un pequeño “sub circuito”, aislado térmicamente del tablero principal, y con terminales largas [23].

Cuando la interferencia sea alta se debe usar un STP (Shielded Twisted Pair, por sus siglas en inglés), para formar una jaula de Faraday, la cual provoca que se anulen los efectos de campos electromagnéticos externos, ya que de no hacerlo se pueden tener errores en las mediciones [28].

1. **Posicionamiento de sensores.** Los sensores no se deben colocar en los bordes o paredes que lo conforman ya que se ven afectados por el intercambio de aire en el interior y exterior, ni tampoco en posiciones donde se vean influenciados directamente por los actuadores [5] [29].

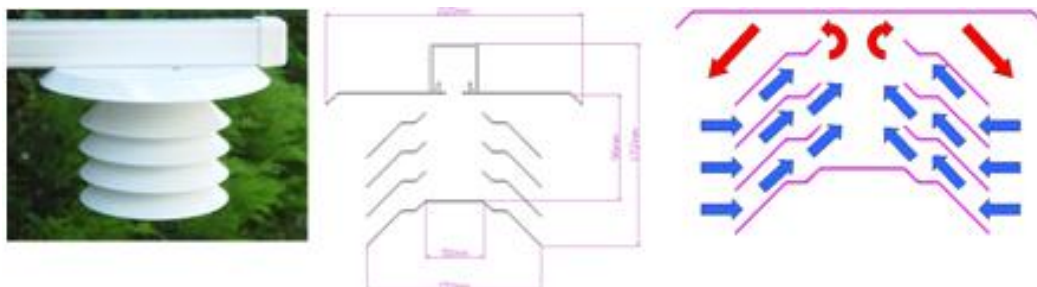
2. **Estructuras para montar sensores de medición de temperatura ambiente y humedad relativa.** En la Figura 4 se muestra una estructura para montar sensores.

Figura No. 4 Armazón por la que pueden introducirse los sensores y a la vez quedar protegidos [13].



a) **Escudo de radiación solar.** Es una cámara hecha de una serie de aletas que usan la convección natural del aire caliente para llevar aire fresco hacia dentro y expulsar el aire calentado, como muestra la Figura 5. La idea es que los sensores colocados dentro, den mediciones más precisas debidas a este continuo flujo de aire fresco. Esto no ocurre con los sensores expuestos al sol directo [14].

Figura No. 5 Carcasa del escudo de radiación solar [14].



F. Consideraciones acerca del tamaño del invernadero

Los invernaderos grandes son más fáciles de controlar que los pequeños, porque su temperatura fluctúa menos, ya que su área expuesta, a través de la cual el calor se gana o pierde, es mucho menor en comparación al volumen de aire que contienen dentro. Se sugieren tamaños mínimos de 1.82 metros de ancho por 3.66 de largo [24].

G. Control de humedad y temperatura

Uno de los medios más efectivos de controlar el crecimiento de las plantas es a través de la regulación de la temperatura. La respiración o el proceso por el cual las plantas utilizan su glucosa, varía considerablemente con la temperatura. De la misma manera, la fotosíntesis o el proceso por el cual se crea glucosa durante las horas del día, también es controlado por la temperatura [1] [20].

Sin embargo, la tasa de fotosíntesis, también está determinada por la cantidad de luz accesible, por lo que la temperatura debe estar coordinada con las condiciones de luz. En días claros, cuando la luz no limita la fotosíntesis, la temperatura del invernadero puede ser mayor que en días nublados [1] [20].

Cuando la luz está siendo una limitante, una temperatura alta puede aumentar la tasa de respiración hasta que la cantidad de glucosa consumida por la planta sea igual o mayor a la que se produjo en la fotosíntesis, por lo que la temperatura de la noche debe ser lo suficientemente baja para asegurar que los azúcares creados durante el día no se usen en su totalidad [1] [20].

Consecuentemente, una vez que las plantas están en sus compartimentos, creciendo, la temperatura durante la noche debe mantenerse entre 15.5° y 18.3°C, ya que de caer debajo de los 14.4°C, durante el desarrollo del fruto, ocasionará un crecimiento pobre. Durante el día deben estar entre 21.1° y 23.8°C, y en días claros, la temperatura podría llegar hasta los 26.6°C, sin tener un efecto negativo en el desarrollo del cultivo [1] [20].

En días nublados, la temperatura debe mantenerse entre los 18.3° y 20.0°C [1] [20].

Siempre que se mantenga este “horario” de temperaturas, los frutos se desarrollarán de forma normal, teniendo una forma lisa y de alta calidad [1] [20].

La humedad relativa dentro del invernadero debe siempre mantenerse debajo de los 90%, para mantener bajo control la enfermedad de la hoja (leaf mold disease), tan destructiva para las plantas del tomate [1] [20].

H. I²C

“Inter-Integrated Circuit Communications”, por sus siglas en inglés, fue desarrollado por Phillips en los 80’s, para proveer una forma fácil de conectar un CPU con chips periféricos en un estudio de televisión [2].

1. **Generalidades del protocolo I²C.** A continuación se exponen algunas características en la Tabla 2.

Tabla No. 2 Información respecto al protocolo I²C [9] [22].

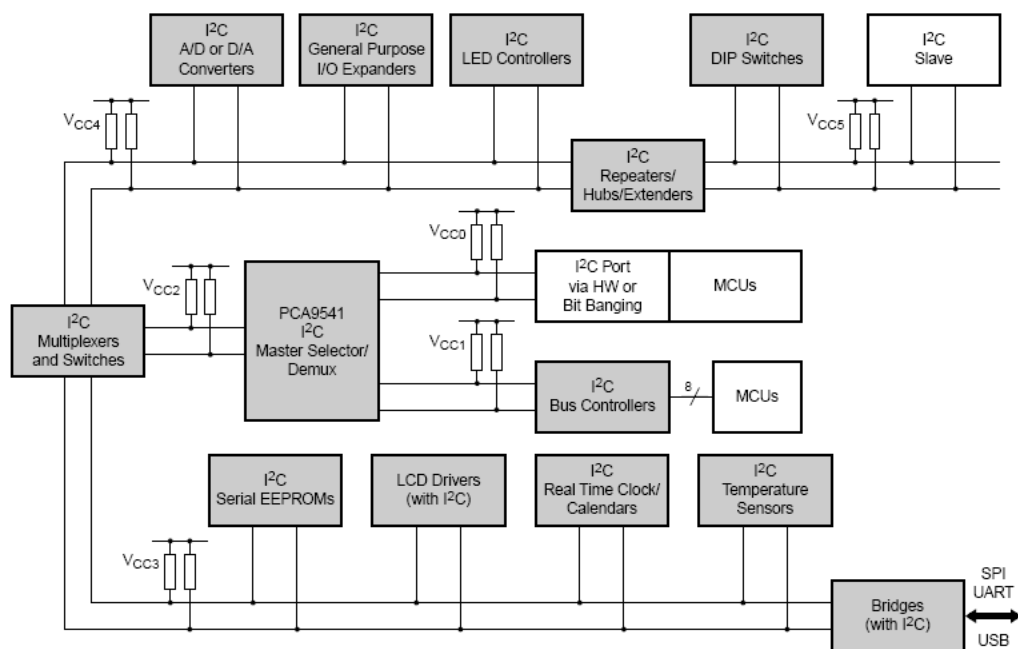
Es un protocolo serial, síncrono (manejado por reloj).
Está implementado en un sistema basado en “Acknowledge” o “ACK”, lo que permite mandar información en una dirección hacia un equipo en el bus, y que luego éste responda con un “ACK” para indicar que la información fue recibida, lo que lo hace "half duplex".
<u>Se basa en dos señales:</u> -La línea de información serial (SDA), por donde La información es mandada de forma bidireccional entre maestro y esclavo. -La línea de reloj serial (SCL), que controla el envío y lectura de información.
El maestro genera la señal de reloj (SCL), por lo que tiene la capacidad de iniciar y terminar la comunicación, decidir con que dispositivo realizarla, y el sentido de la transferencia.
El esclavo puede retener la línea del reloj baja, para prevenir la transferencia de información.
No se transfiere información a menos que exista una señal del reloj.

Continuación Tabla 2.

<p>Todo esclavo conectado al bus tiene asignada una dirección única codificada en 7 o 10 bits.</p> <p>Permite la existencia de varios maestros (multi-master), que por medio de un arbitraje asegura que en cada instante solo hay un maestro a la vez.</p>
<p>Velocidades del bus:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Modo estándar (Sm), con una tasa de transferencia de 100 kbit/s. -Modo rápido (Fm), con una tasa de transferencia de 400 kbit/s. -Modo rápido "plus" (Fm+), con una tasa de transferencia de 1 Mbit/s. -Modo de alta velocidad (Hs), con una tasa de transferencia de 3.4 Mbit/s.
<p>Su límite de capacitancia es de 400pF, lo que limita la cantidad de dispositivos que puedan estar conectados y su alcance a no más de 3.6 metros.</p>
<p>A una velocidad de 100kHz el bus debe estar libre al menos 4.7µs o más antes que una nueva transmisión pueda iniciarse.</p>

A continuación en la Figura 6, se muestra una red con dispositivos I²C.

Figura No. 6 Representación de la forma en que se pueden unir diversos dispositivos en el bus I²C [22].



a) **Niveles de señal.** Únicamente tiene 2 estados eléctricos conocidos como 1 lógico (5 voltios) como muestra la Figura 7, y 0 lógico (0 voltios) como muestra la Figura 8 [17].

Figura No. 7 Estado eléctrico cuando se produce un 1 lógico [17].



Figura No. 8 Estado eléctrico cuando se produce un 0 lógico [17].



b) **Hardware adicional para hacer funcionar la comunicación I²C.** Debido a que las terminales SDA y SCL son de drenaje abierto (colector abierto), son necesarias 2 resistencias entre éstas y 5 voltios para conseguir el 1 lógico. A continuación en la Figura 9, se muestran valores de resistencias, que varían según la velocidad de transferencia de datos por segundo utilizada [17] [18].

Figura No. 9 Valores de resistencias a usar según velocidades del bus I²C [17].

< 100 kbps	100 kbps	400 kbps
4.7 k	2.2 k	1 k

Nota: Los valores son aproximados

c) Elementos que componen la comunicación I²C

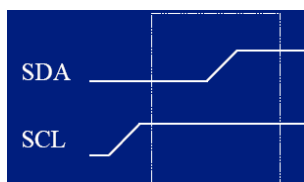
1) **Condición de inicio [S].** Se da para iniciar la comunicación I²C, y consiste en bajar la línea SDA mientras SCL está en alto como se muestra en la Figura 10 [17].

Figura No. 10 Condición de inicio [17].



2) **Condición de parada [P]**. Indica que un equipo ha terminado su comunicación I²C, y consiste en soltar (apagar el buffer) la línea SCL seguido por la liberación de la línea SDA, como muestra la Figura 11. Una vez completada la condición de parada, SCL y SDA estarán en estado del uno lógico, por lo que el bus pasa a un estado ideal, donde una condición de inicio puede ser usada nuevamente para enviar más información [17].

Figura No. 11 Condición de parada [17].



3) **Condición de reinicio [R]**. Indica que un equipo quiere transmitir más información, y que no quiere soltar la línea aún, por ejemplo en lo que se envían direcciones y se recopila información.

Consiste en enviar una condición de parada seguida por una condición de inicio, como muestra la Figura 12 [17].

Figura No. 12 Condición de reinicio [17].



4) **Transferencia de información.** 8 bits (1 byte) son enviados por el bus a través de la línea SDA, y se validan cuando SCL va hacia su flanco de subida es decir, el reloj está alineado con la trama de información, para indicar si cada bit es un 1 ó un 0, como indica la Figura 13 [17].

Figura No. 13 Detección del bit transmitido [17].

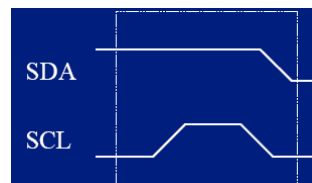


5) **Condición de ACK [A].** Se utiliza para validar cada byte transmitido, y consiste en que el equipo receptor genere un cero lógico en la línea SDA, en el noveno pulso de reloj del SCL. De lo contrario se transmitirá un "NACK", que implicaría que el dato recibido no es válido. A continuación se muestra un ACK y NACK, en las Figuras 14 y 15 [17].

Figura No. 14 ACK [17].

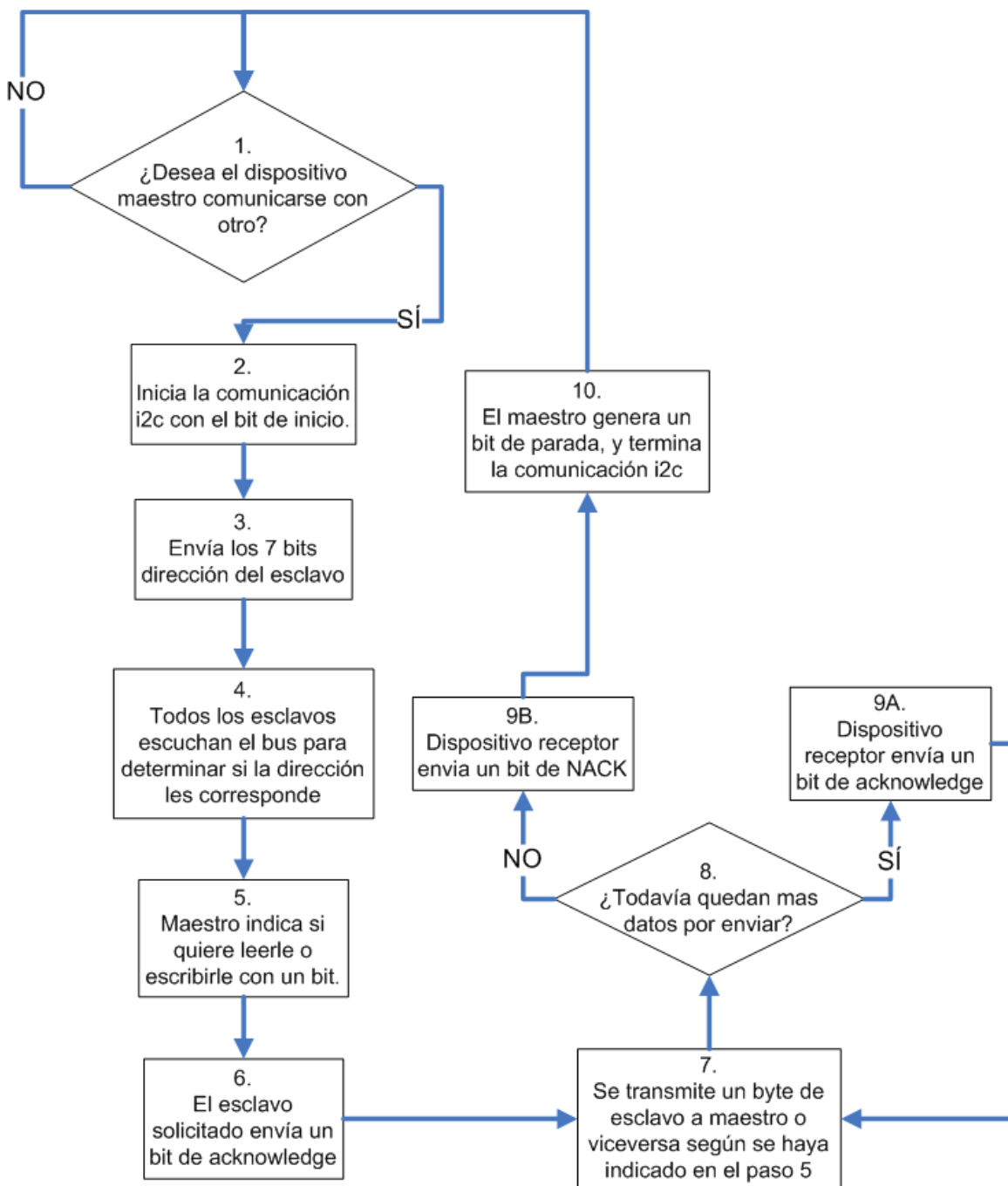


Figura No. 15 NACK [17].



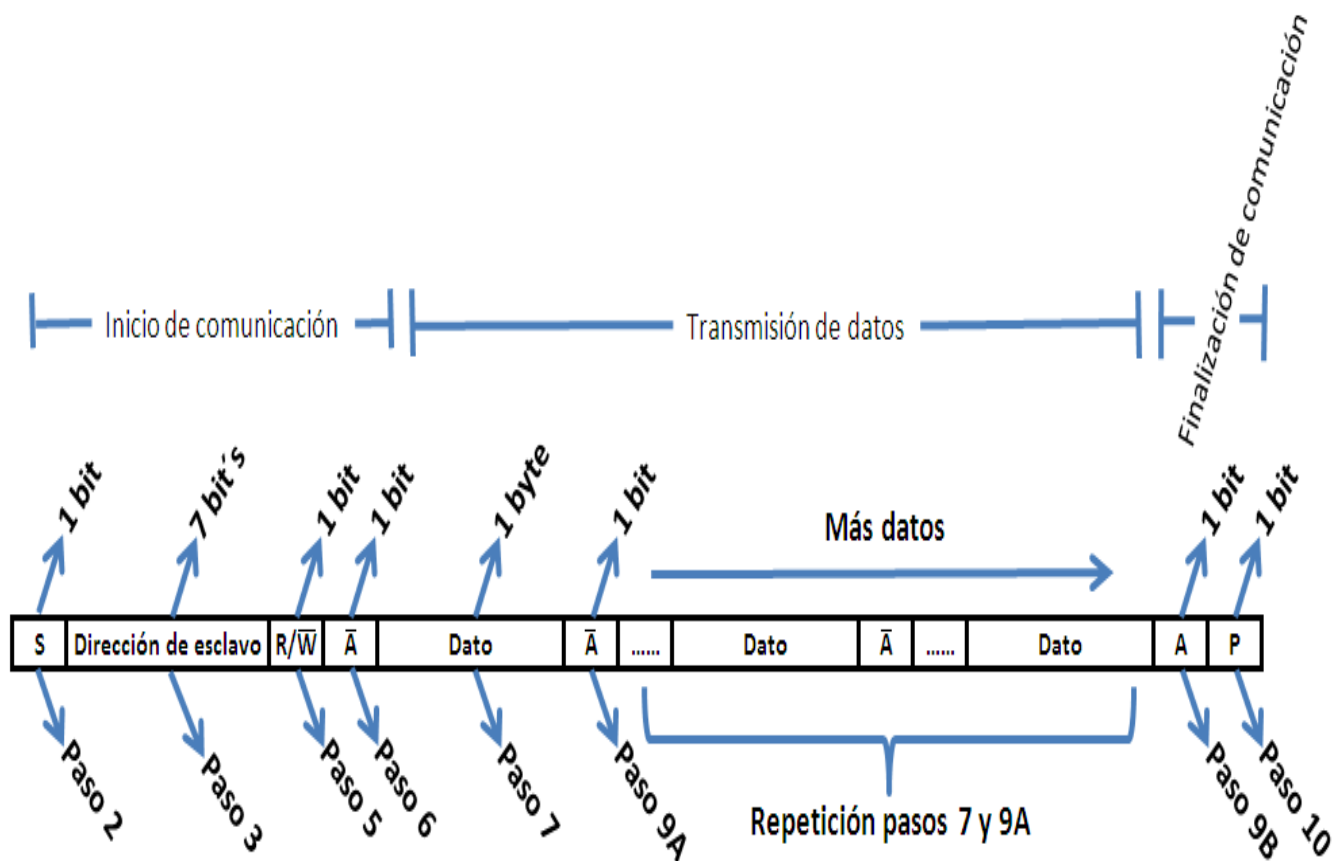
d) **Funcionamiento general de la comunicación I²C.** Debido a que la comunicación I²C no ocurre de manera simultánea, deben seguirse una serie de pasos mostrados en el diagrama de la Figura 16 para lograr el inicio de la transmisión, el envío de datos y la finalización de la misma [9].

Figura No. 16 Diagrama de bloques de comunicación I²C [9].



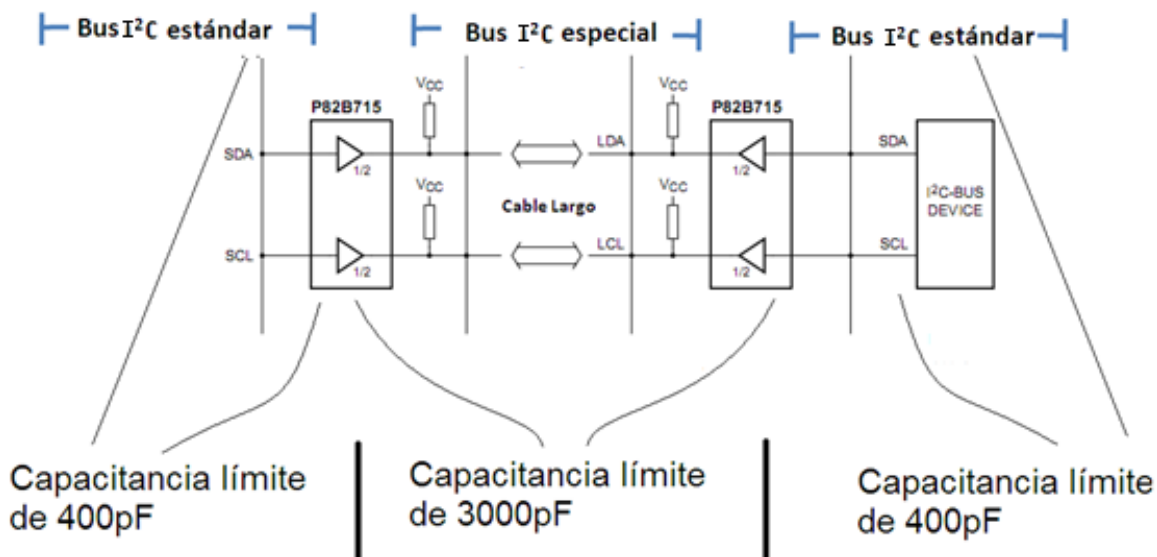
Para lograr el envío de datos de forma exitosa únicamente es necesario repetir los pasos 7 y 9A, siempre que no se haya pasado por los pasos 9B y 10, de lo contrario habría que comenzar en el paso 2 para enviar más información, como muestra el formato de trama de la Figura 17. Sin embargo, existen algunos dispositivos esclavos que no pueden enviar más de un dato a la vez, por lo que necesitan que se les inicie y finalice la comunicación I²C entre cada dato pedido [9] [19].

Figura No. 17 Trama entre maestro y esclavo [9].



2. **Extensor del bus I²C- P82B715.** Además de mantener las características y modos de operación del bus I²C permite extender su distancia de operación a un máximo de 50 metros, debido a que permite un límite de capacitancia de 3000pF, como muestra la Figura 18 [21].

Figura No. 18 Límites de capacitancia del bus I²C [21].



Algunas características del extensor se exponen en la Tabla 3.

Tabla No. 3 Información respecto al extensor P82B715 [21].

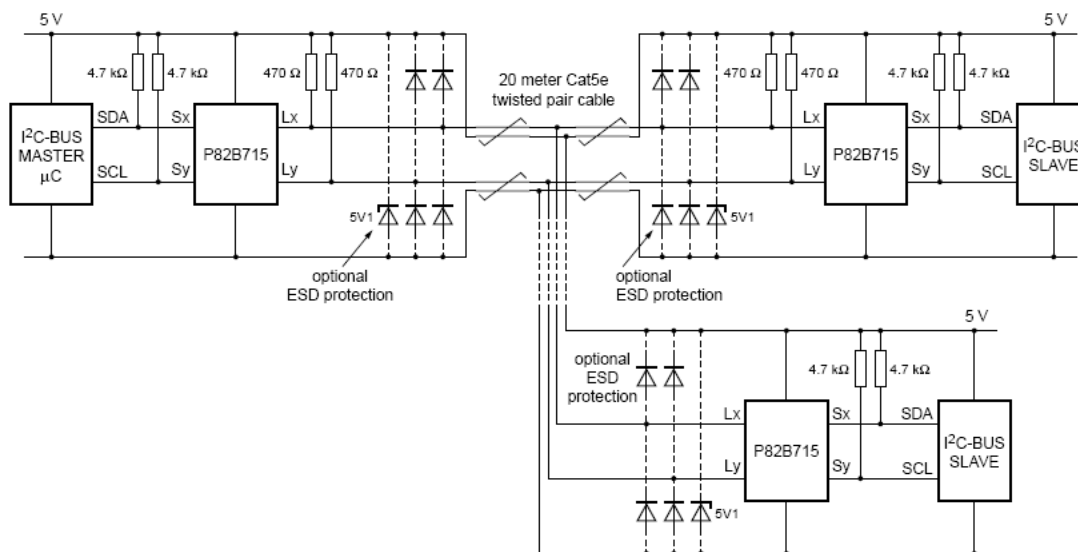
Es un buffer de ganancia unitaria de voltaje.
Es bidireccional, y no requiere de control externo para indicar la dirección de la transmisión.
Es compatible con el bus I ² C, y sus derivados: SMBus, PMBus, DDC, etc.
La señal lógica que entra y sale del componente, es independiente del Vcc.
Rango de alimentación: 3-12V.
Maneja velocidades de reloj entre 100 y 400 kHz.

Continuación Tabla 3.

Viene en el empaquetado DIP8 o bien en el SO8.	
Su rango de temperatura es de -40°C a +85°C.	
Amplifica la corriente en un factor de 10.	
Es compatible con voltajes TTL.	

a) **Diseño de una conexión punto- multipunto.** El circuito a continuación (Figura 19), funciona adecuadamente a velocidades de 100KHz, con un alcance de hasta 30 metros [21].

Figura No. 19 Conexión entre varios dispositivos esclavos, por medio del extensor P82B715 [21].



Las resistencias de “pull-up”, que llevarán cada componente maestro/esclavo del bus se calcularan como muestra la siguiente ecuación [21].

$$R_{\text{Bus } i^2c \text{ Convencional}} = \frac{V_{CC} - 0.4V}{1mA} \quad (2)$$

Las resistencias de “pull-up”, utilizadas en el cable largo, después del P82B715, se obtendrá con la siguiente ecuación [21].

$$R_{\text{Bus } I^2C \text{ Extendido}} = \frac{V_{CC} - 0.5V}{(21 - n)mA} \quad (3)$$

Donde n es el número total de módulos P82B715 en el cable [21].

Se recomienda usar cable de par trenzado, categoría 5e [21].

b) Descripción de su funcionamiento. El funcionamiento del extensor viene dado a partir de las siguientes ecuaciones:

$$q = cV \quad (4)$$

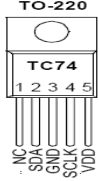
$$I = \frac{dq}{dt} \quad (5)$$

Donde q es la carga, c la capacitancia, V el voltaje, I la corriente y t el tiempo.

Entonces si la capacitancia del bus I²C aumenta el P82B715 compensa haciendo una amplificación de corriente para mantener el voltaje constante.

3. **Sensor TC74, para medición de temperatura ambiente.** Algunas características del sensor se muestran en la Tabla 4.

Tabla No. 4 Información respecto al sensor TC74 [19].

Empaquetado TO-220	
Su resolución de temperatura es de 1°Celsius	
Puede tomar hasta 8 muestras por segundo (SPS)	
Su salida es de 8 bits	
Diseñado con el módulo I ² C	

Continuación Tabla 4.

Exactitud:
$\pm 2^{\circ}\text{C}$ (máximo) de $+25^{\circ}\text{C}$ to $+85^{\circ}\text{C}$
$\pm 3^{\circ}\text{C}$ (máximo) de 0°C to $+125^{\circ}\text{C}$
Voltaje de alimentación: 2.7 a 5.5V
Frecuencia del reloj I ² C: 100 KHz
Tiene un umbral de "Power-on Reset" de: 1.2 -2.2 V
Rango de temperatura en que opera: 0°C a 125°C

a) **Descripción de su funcionamiento.** El TC74 obtiene una temperatura, y la convierte a una resolución de $\pm 1^{\circ}\text{C}$, de 8 bits. Luego guarda la información en un registro interno (de solo lectura), el cual es leído a través del puerto serial. La interfaz de este sistema dentro de la red I²C, es ser un esclavo, por lo que su información de temperatura puede ser leída en cualquier momento por un maestro (Pic18F4550), el cual provee la señal de reloj para todas las transferencias. El TC74 viene con una de 8 direcciones de fábrica, que se indican por los tres últimos bits menos significativos, después del último bit (este indica si se debe leer (=1) o escribir (=0)), del byte de dirección (con el formato 1001 101b), lo que permite una configuración de múltiples sensores. Además pasa a un modo de bajo consumo cuando su toma de temperaturas es suspendida (se paraliza su convertidor A/ D) [19].

En la Tabla 5 se muestran algunas respuestas del sensor TC74, las cuales se encuentran en un formato de complemento 2 [19].

Tabla No. 5 Conversiones de temperatura ambiente, a su correspondiente valor digital [19].


Actual Temperature	Registered Temperature	Binary Hex
+130.00°C	+127°C	0111 1111
+127.00°C	+127°C	0111 1111
+126.50°C	+126°C	0111 1110
+25.25°C	+25°C	0001 1001
+0.50°C	0°C	0000 0000
+0.25°C	0°C	0000 0000
0.00°C	0°C	0000 0000
-0.25°C	-1°C	1111 1111
-0.50°C	-1°C	1111 1111
-0.75°C	-1°C	1111 1111
-1.00°C	-1°C	1111 1111
-25.00°C	-25°C	1110 0111
-25.25°C	-26°C	1110 0110
-54.75°C	-55°C	1100 1001
-55.00°C	-55°C	1100 1001
-65.00°C	-65°C	1011 1111

Otros sensores de temperatura investigados pueden encontrarse en el apéndice bajo el título de **Familias de sensores de medición de temperatura ambiente**.

I. Sensor de medición de humedad relativa, HS1101LF

En la Tabla 6 se muestran algunas características del sensor;

Tabla No. 6 Información respecto al sensor HS1101LF [10].

Rango de temperatura en que opera: -60 a 140°C	
Rango de humedad en que opera: 0 a 100% de humedad relativa	
Ofrece una salida de capacitancia en base a su entrada de humedad relativa	
Tiene un error de $\pm 2\%$ de humedad relativa	

Para obtener el porcentaje de humedad relativa detectado por el sensor a partir de su capacitancia se usa la ecuación (6), donde X se define en la ecuación (7).

$$RH(\%) = (-3.4656 * 10^3)X^3 + (1.0732 * 10^4)X^2 - (1.0457 * 10^4)X + 3.2459 * 10^3 \quad (6)$$

$$X = C/C@55\% \text{ HR} \quad (7)$$

Donde C es la capacitancia del sensor.

Para obtener la capacitancia del sensor en base a la humedad relativa medida se utiliza la ecuación (8).

$$C(\text{pF}) = C@55\% * (3.903 * 10^{-8} * HR^3 - 8.294 * 10^{-6} * HR^2 + 2.188 * 10^{-3} * HR + 0.898) \quad (8)$$

En la Tabla 7 se muestra varios valores obtenidos a partir de la ecuación (8).

Tabla No. 7 Resultados de utilizar la ecuación (8) [10].

Humedad relativa (%)	Capacitancia (pF)
100	193.1202
99	192.8147897
98	192.5105666
97	192.2074886
96	191.9055136
95	191.6045993
94	191.3047037
93	191.0057846
92	190.7077998
91	190.4107072
90	190.1144646

Humedad relativa (%)	Capacitancia (pF)
76	186.0327161
75	185.7441656
74	185.4557908
73	185.1675494
72	184.8793992
71	184.5912982
70	184.3032042
69	184.015075
68	183.7268685
67	183.4385425
66	183.1500549

Continuación Tabla 7.

Humedad relativa (%)	Capacitancia (pF)	Humedad relativa (%)	Capacitancia (pF)
89	189.8190299	65	182.8613635
88	189.5243609	64	182.5724261
87	189.2304155	63	182.2832007
86	188.9371515	62	181.9936451
85	188.6445268	61	181.703717
84	188.3524992	60	181.4133744
83	188.0610265	59	181.1225751
82	187.7700667	58	180.831277
81	187.4795775	57	180.5394378
80	187.1895168	56	180.2470155
79	186.8998425	55	179.9539679
78	186.6105123	54	179.6602529
77	186.3214843	53	179.3658282

Otros sensores de humedad investigados pueden encontrarse en el apéndice bajo el título de **Familias de sensores de medición de humedad relativa**.

J. Circuito de oscilación estable

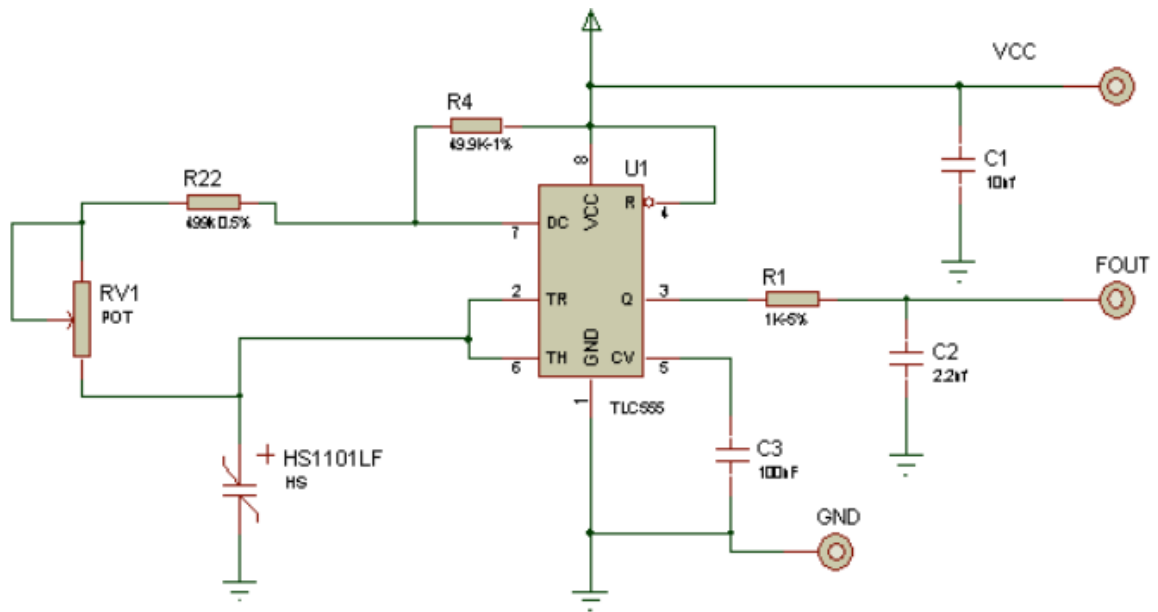
A continuación se muestra un circuito de oscilación estable (Figura 20) compuesto por el integrado TLC555. Su respuesta en frecuencia queda descrita por la ecuación (9) y (10).

$$f = \frac{K}{C} \quad (9)$$

Donde K se describe en la siguiente ecuación.

$$K = \frac{1}{0.693(R4 + 2\{R22 + RV1\})} \quad (10)$$

Figura No. 20 Circuito de oscilación astable [10].



IV. DELIMITACIÓN DEL TEMA

El módulo de la red de sensores contempla la medición continua de temperatura ambiente en grados Celsius y humedad relativa en porcentaje en cuatro macetas dentro del invernadero, con los sensores I²C TC74 y de capacitancia HS1101LF. Los sensores son monitorizados por el micro controlador pic18f4550 que calcula las magnitudes promedio de las variables medidas. Adicionalmente incluye un módulo para la calibración de las curvas de cada sensor.

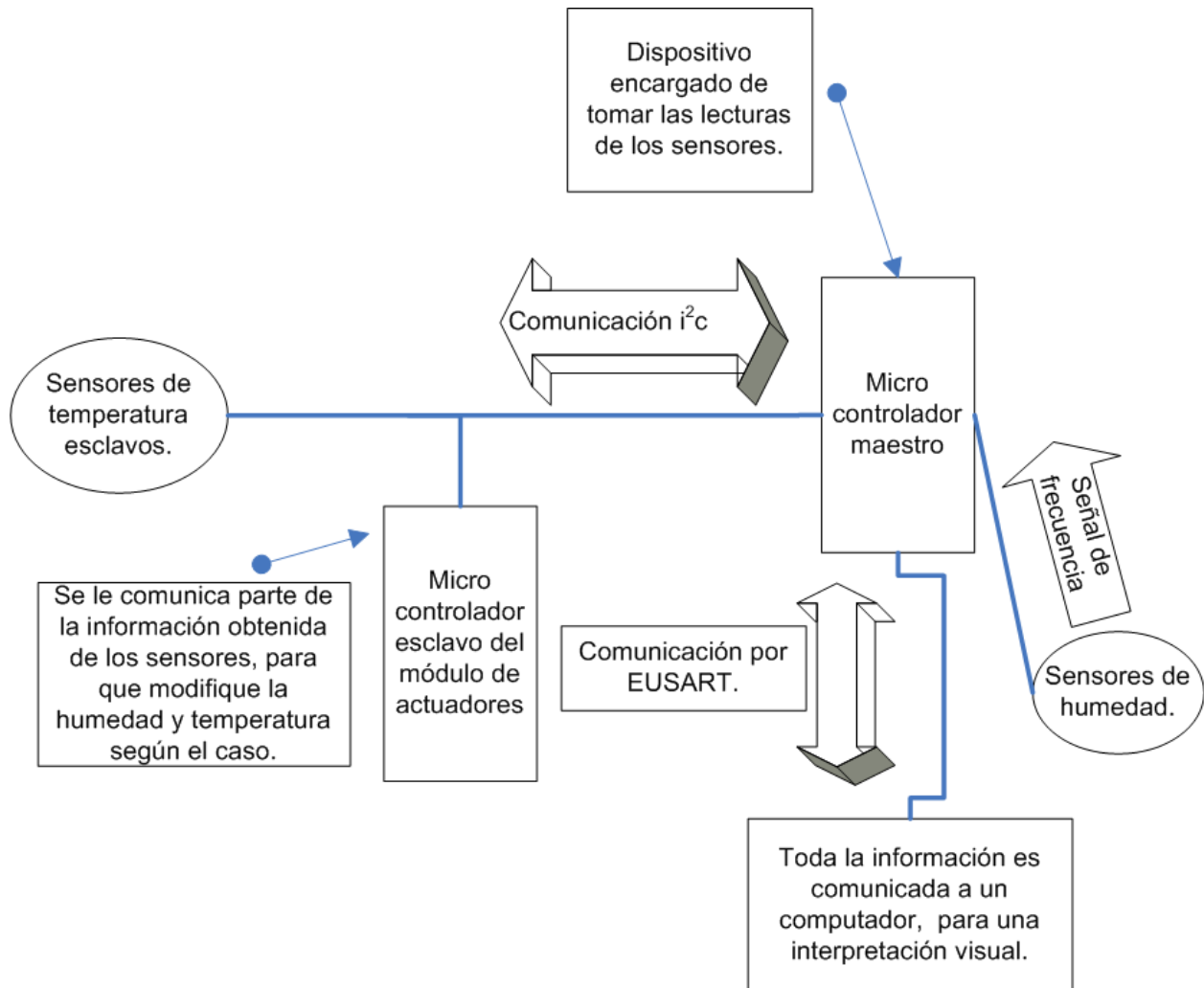
Al módulo de actuadores se le comunican las mediciones promedio además de sus “setpoints” de temperatura y humedad.

Las mediciones de temperatura ambiente y humedad relativa se envían al computador para su almacenamiento en Excel y representación visual a través de gráficas que varían con el tiempo. Este trabajo no se ocupa del control de humedad y temperatura dentro del invernadero sino únicamente de la medición de dichas variables ambientales, y comunicarlas a un módulo de control de actuadores.

V. DISEÑO EXPERIMENTAL

El proyecto se organizó según la Figura 21.

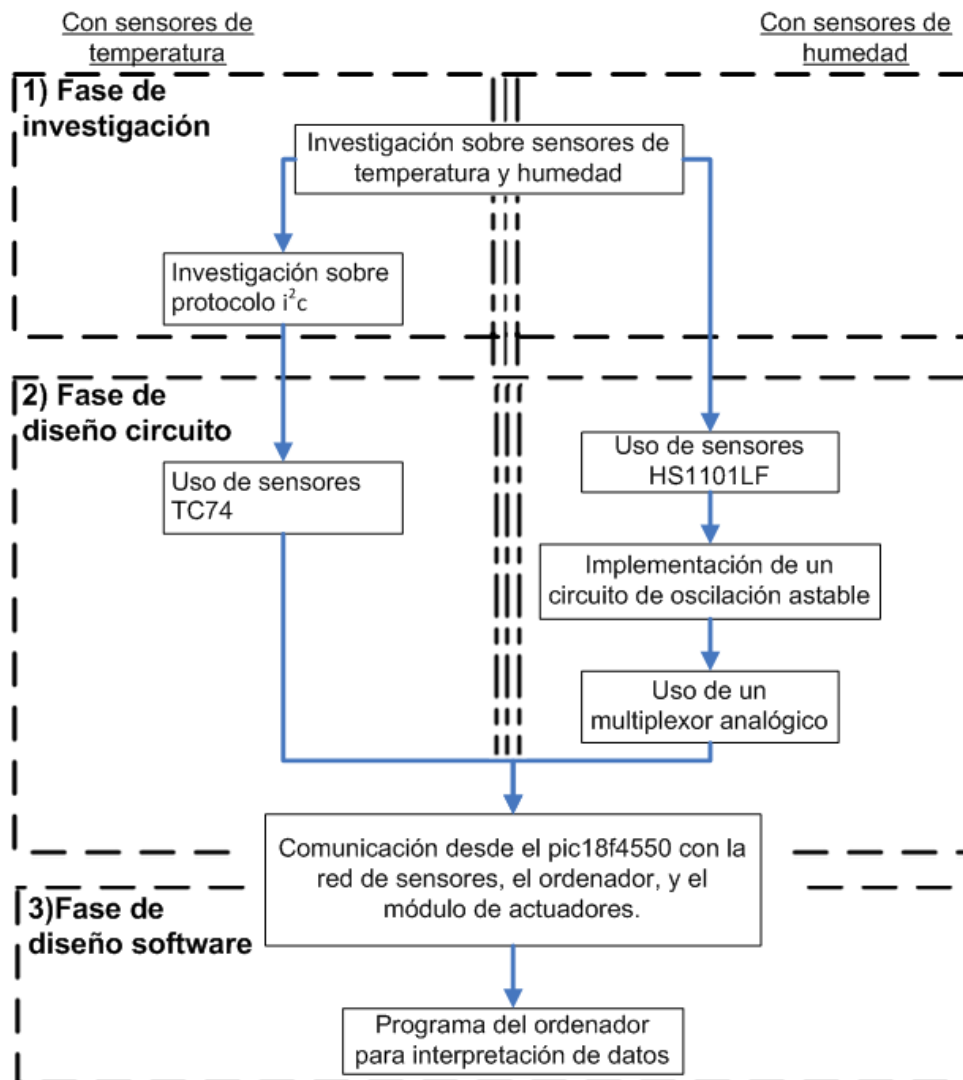
Figura No. 21 Organización general del proyecto por diagrama de bloques.



El diseño se dividió en dos partes: La primera (Figura 22) una implementación a nivel del laboratorio y la segunda (Figura 39) dentro del invernadero. A continuación se expone cada una.

A. Implementación a nivel de laboratorio

Figura No. 22 Diagrama de bloques de la implementación dentro del laboratorio.

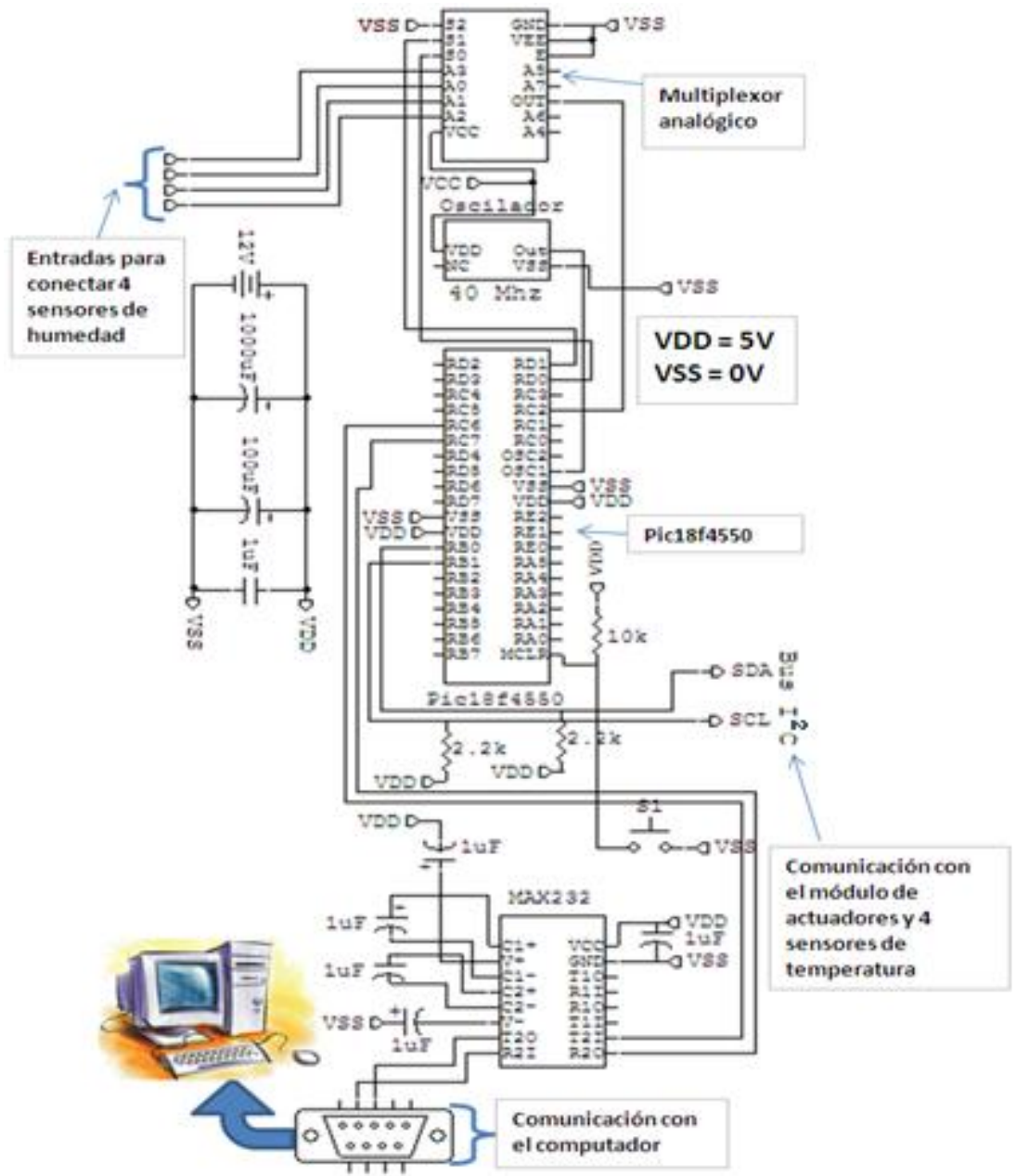


1. **Fase de investigación.** Se hizo una búsqueda entre varios modelos de sensores de humedad y temperatura, seleccionando para medición de temperatura al TC74 y para medición de humedad al HS1101. Posteriormente se obtuvieron detalles del funcionamiento de los mismos, valiéndose de sus hojas de datos para su correcta utilización. Adicionalmente, para controlar los sensores de temperatura se investigó sobre el protocolo de comunicación serial i^2c .

2. Fase de diseño circuito

a) **Circuito principal.** Se construyó el circuito mostrado a continuación (Figura 23) para la interpretación de las mediciones enviadas por los 8 sensores.

Figura No. 23 Circuito desarrollado dentro del laboratorio.



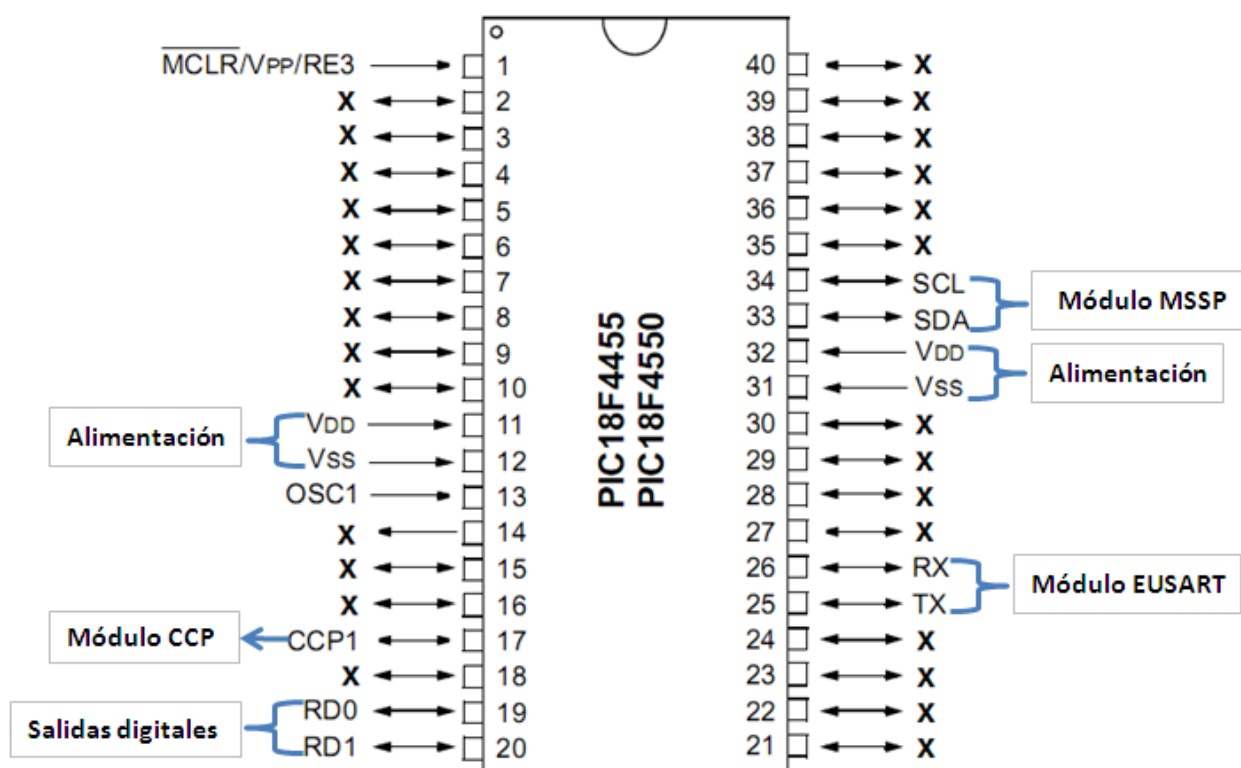
Para la comunicación I²C entre la red de sensores y el módulo de actuadores se utilizaron las terminales SCL y SDA mostradas en la Figura 24, que a la vez se les conectaron resistencias de “pull-up” de 2.2k Ω .

El muestreo de frecuencia fue realizado por el módulo CCP1 (Figura 24) que analizó la señal de un sensor a la vez. Esto con la ayuda del multiplexor analógico CD74HCT4051 que era controlado por las terminales RD0 y RD1 del pic18f4550.

La comunicación bidireccional entre computadora y micro controlador quedó manejada por el módulo EUSART (Figura 24) del cual se tenían que traducir sus niveles de voltaje por medio del componente Max232, para la correcta interpretación del ordenador.

El pic18f4550 ejecuto cada instrucción a 0.5 μ seg.

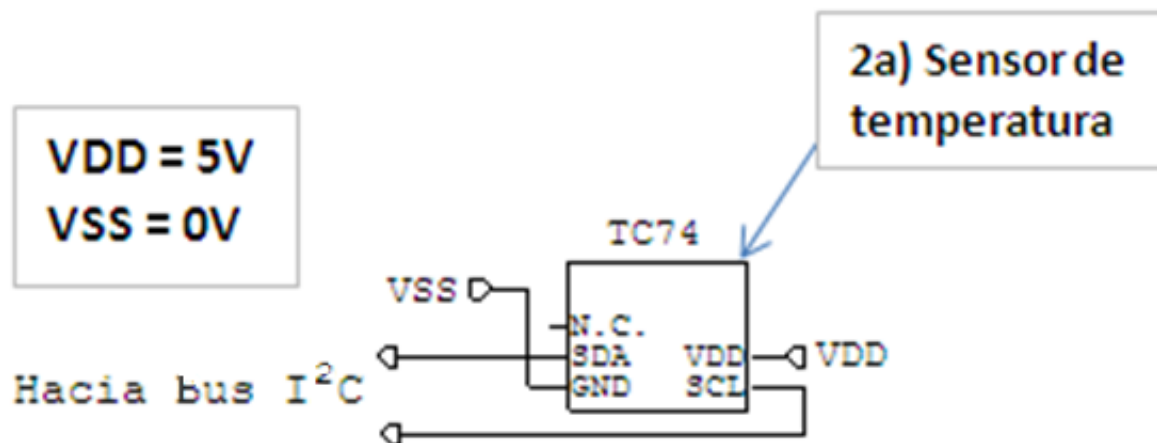
Figura No. 24 Terminales del Pic18f4550 empleadas para el control de la red de sensores.



NOTA: Las terminales marcadas con x, no fueron utilizadas

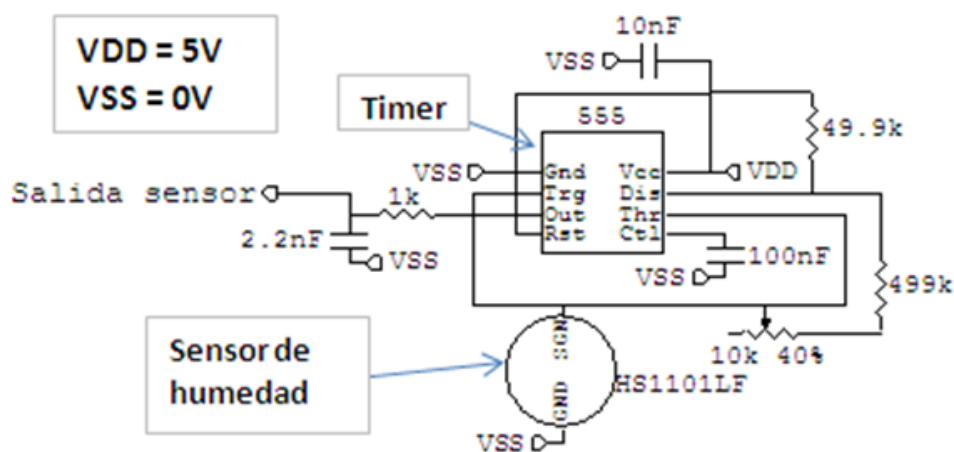
b) **Circuitos de los sensores.** Para hacer funcionar los sensores de temperatura únicamente fue necesario alimentarlos y conectarlos al bus I²C como muestra la Figura 25.

Figura No. 25 Circuito del sensor de temperatura para primer diseño.



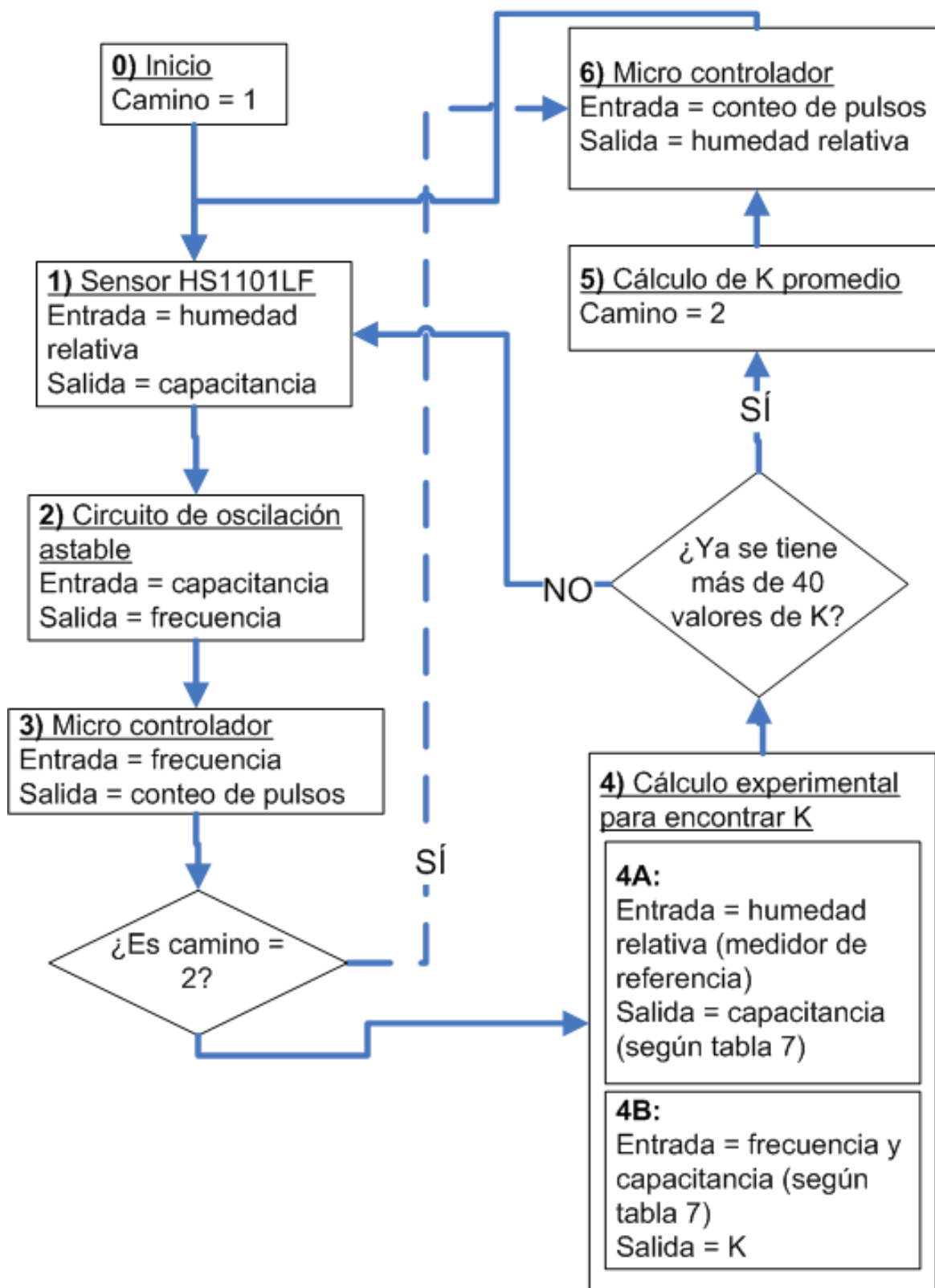
En el caso de los sensores de humedad, se introdujeron en un circuito de oscilación astable (Figura 26) constituido por un timer 555 y un arreglo de resistencias que permitían variar la frecuencia según la capacitancia del sensor.

Figura No. 26 Circuito del sensor de humedad para primer diseño.



c) **Obtención de humedad relativa.** En la Figura 27 se muestra el procedimiento para la obtención de humedad relativa de cada sensor. Este flujo se aplica por completo y por separado a cada uno de los sensores:

Figura No. 27 Diagrama de la obtención de humedad relativa a nivel general.



- 1) El sensor que es un transductor, hace una conversión de la variable física de humedad relativa a la de capacitancia.
- 2) El circuito de oscilación astable de la Figura 26 convierte la capacitancia del sensor a frecuencia. Su comportamiento es descrito por la ecuación (9).
- 3) El micro controlador realiza un conteo de pulsos por unidad de tiempo de la señal proveniente del oscilador astable (contador de frecuencia).
- 4) Este paso se realiza hasta conseguir K_{PROMEDIO} .

4A. Se realiza el cálculo para determinar de manera experimental la capacitancia de un sensor particular según la humedad detectada por el sensor de referencia. Para tal efecto se hace uso de la ecuación (8).

4B

Se calcula experimentalmente la frecuencia detectada por el micro controlador a partir de su conteo de pulsos y tiempo de ejecución por instrucción ($0.5\mu\text{s}$) con el uso de la siguiente ecuación:

$$f = \frac{1}{(\text{Conteo de pulsos})(0.5 * 10^{-6})} \quad (11)$$

El paso 4A y 4B se hace para al menos 40 mediciones de humedad relativa detectadas por el sensor de referencia durante un período de tiempo (8 horas).

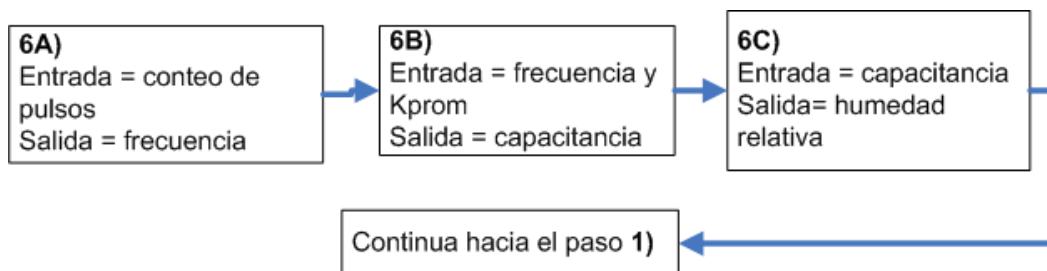
- 5) A continuación cada una de estas frecuencias y capacitancias (40 mediciones) se emplean en la siguiente ecuación para la obtención de un K_{PROMEDIO} que es el mismo K de la ecuación (10)

$$K = K_{\text{PROMEDIO}} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i * f_i}{n} \quad (12)$$

Cabe notar que este K_{PROMEDIO} es diferente para cada sensor.

6) A continuación en la Figura 28 se muestra un diagrama de cómo el micro controlador obtiene la humedad relativa.

Figura No. 28 Diagrama de la obtención de humedad relativa dentro del micro controlador.



Todo el proceso se realiza en tiempo real y es recalculado para cada sensor.

6A

A partir de la ecuación (11), se convierte del conteo de pulsos a frecuencia.

6B

Utilizando la ecuación (13) se determina la capacitancia del sensor según la frecuencia obtenida en el paso anterior

$$\text{Capacitancia} = \frac{K_{\text{PROMEDIO}}}{\text{frecuencia}} \quad (13)$$

Donde K_{PROMEDIO} es conocida por el paso 5)

6C

Finalmente se determina la humedad relativa resolviendo las ecuaciones (6) y (7) con la capacitancia encontrada en el paso anterior. Adicionalmente la parte decimal de esta operación es descartada.

3. Fase de diseño software

a) **Programa micro controlador.** La programación dentro del pic18f4550 se hizo por medio del compilador "CCS C". Empleando assembler para implementar la comunicación EUSART y para el conteo de pulsos.

Para la ecuación de calibración de curvas (14) se utilizó el lenguaje C.

$$Y = (Ax)0.001 + B - 1000 \quad (14)$$

Donde A y B son variables escogidas por el usuario, y x es la medición a calibrar. Adicionalmente en este lenguaje se programaron las ecuaciones (6), (7), (11), y (13).

Los parámetros de calibración, al igual que los “setpoints” fueron almacenados en la memoria EEPROM del micro controlador.

Al módulo CCP1 se le asignó que iniciara su conteo por medio del timer 1 entre dos flancos de subida de la frecuencia a muestrear.

La configuración de la comunicación I²C entre el micro controlador maestro y los sensores de temperatura fue de solo lectura, pidiendo un byte a la vez. Con respecto a la del módulo de actuadores fue de solo escritura, enviándole la humedad y temperatura promedio además del setpoint como se muestra en la Figura 29 y transmitiendo los bytes indicados en la Figura 30.

Figura No. 29 Procedimiento para establecer comunicación con el módulo de actuadores.

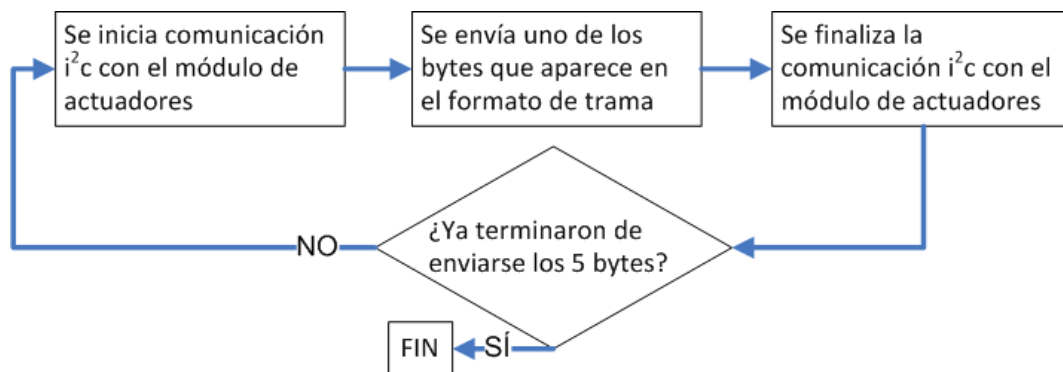


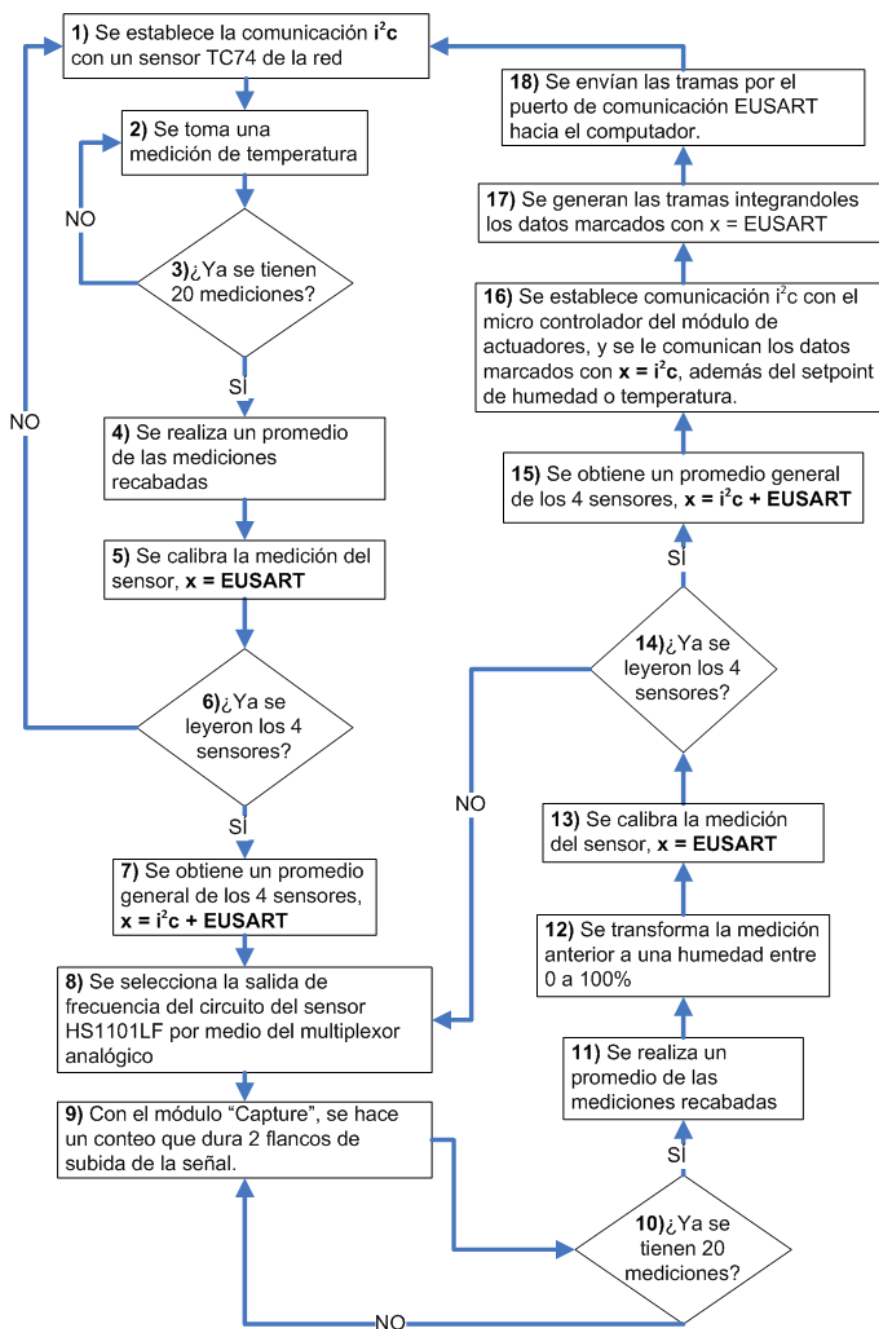
Figura No. 30 Formato de trama para comunicación con módulo de actuadores.

Bytes	1	2	3	4	5
Contenido	252 para indicar el inicio de trama	33 para control de temperatura o 65 para control de humedad	Set point	Temperatura promedio	Humedad promedio

Al establecer la comunicación serial con el ordenador, se le comunicaron las 8 mediciones de los sensores, junto con la humedad relativa promedio, la temperatura promedio, y los “setpoints” de humedad y temperatura.

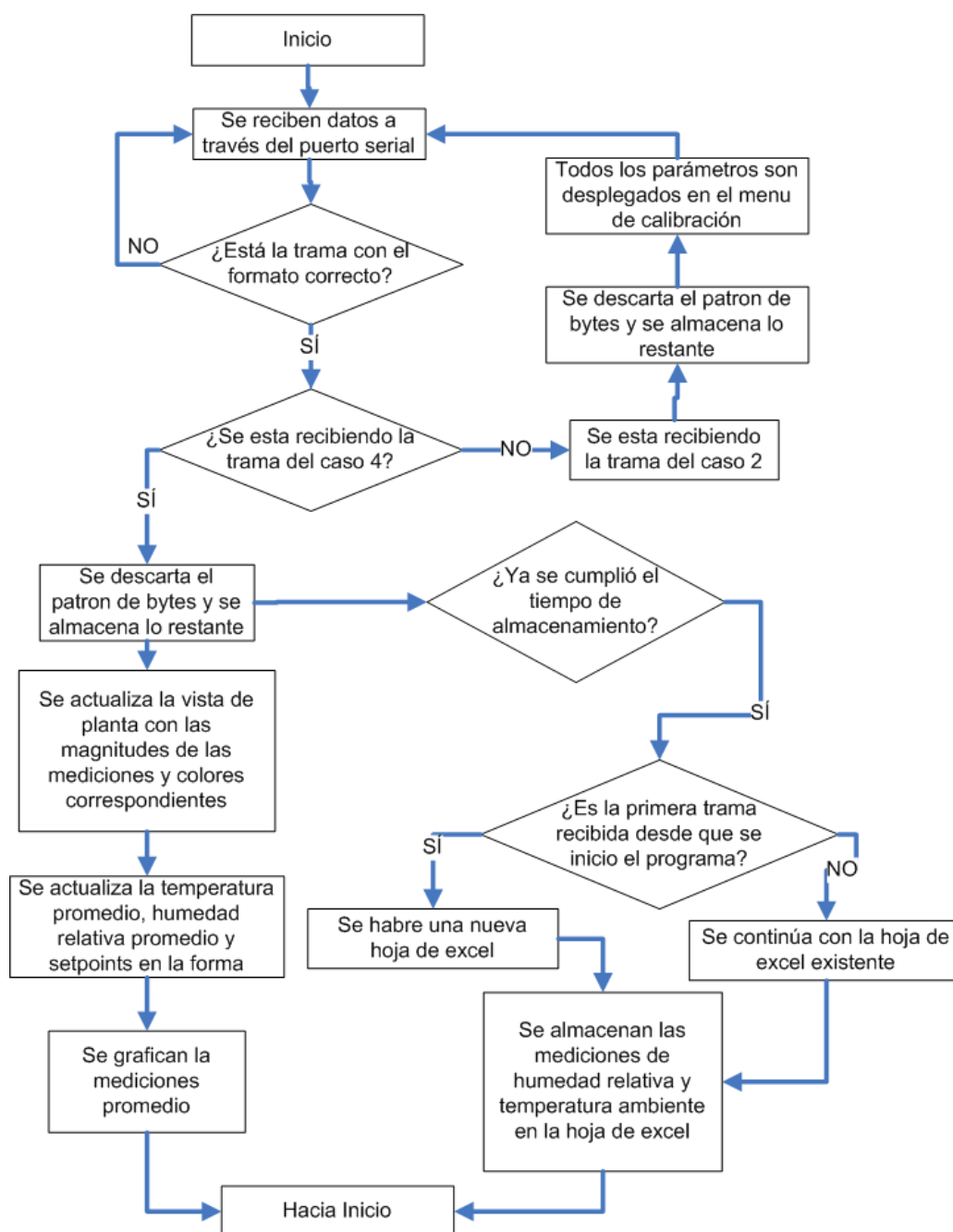
A continuación en la Figura 31 se muestra un diagrama con funcionalidad similar a la rutina principal del micro controlador, omitiendo los detalles de las interrupciones.

Figura No. 31 Diagrama de bloques del funcionamiento del programa del micro controlador.



b) **Programa computador.** La interfaz gráfica del ordenador se realizó en “Visual Basic”. Para implementar la rutina de ejecución principal mostrada en la Figura 32, se utilizó el interrupto del mscomm1, varios métodos de Excel dirigidos a escribir y dar formato a las celdas, y un temporizador que medía cada minuto transcurrido una vez estuviera corriendo la aplicación.

Figura No. 32 Diagrama de la recepción de datos del programa del computador.



c) **Tramas para comunicación bidireccional entre micro controlador y computador.**

A continuación en la Figura 33 se describen los casos de trama usados para transmitir información entre la red de sensores y el ordenador. En las Figuras 34, 35, 36, 37 y 38 se muestra la composición específica de cada trama según el caso.

Figura No. 33 Casos de tramas para comunicación entre micro controlador y ordenador.

Caso	Patrón de bytes			Dirección de comunicación	Descripción	Cantidad de bytes transmitidos
	1er byte	2do byte	3er byte			
1	15	60	240	Compu→Pic	Para enviar los parámetros de calibración A y B	35
2	15	60	240	Pic→Compu	Para enviar los parámetros de calibración A y B	35
3	25	75	225	Compu→Pic	Para enviar la configuración del modulo de actuadores	35
4	252	126	63	Pic→Compu	Para enviar las mediciones de los sensores	20

Continuación Figura 33

Caso	Patrón de bytes			Dirección de comunicación	Descripción	Cantidad de bytes transmitidos
	1er byte	2do byte	3er byte			
5	3	12	48	Compu→Pic	Para pedir los parámetros de calibración A y B	35

Figura No. 34 Trama para enviar los parámetros de calibración desde la compu al pic.

Trama para caso 1					
Bytes	1	2	3	4 al 19	20 al 35
Contenido	15	60	240	16 bytes para calibración de sensores de temperatura	16 bytes para calibración de sensores de humedad

Figura No. 35 Trama para enviar los parámetros de calibración desde el pic a la compu.

Trama para caso 2					
Bytes	1	2	3	4 al 19	20 al 35
Contenido	15	60	240	16 bytes para calibración de sensores de temperatura	16 bytes para calibración de sensores de humedad

Figura No. 36 Trama para enviar la configuración desde la compu al pic.

Trama para caso 3						
Bytes	1	2	3	4	5	6 al 35
Contenido	25	75	225	65 para control de humedad o 33 para control de temperatura	Setpoint	Bytes de relleno, representados con ceros

Figura No. 37 Trama para enviar las mediciones desde el pic a la compu.

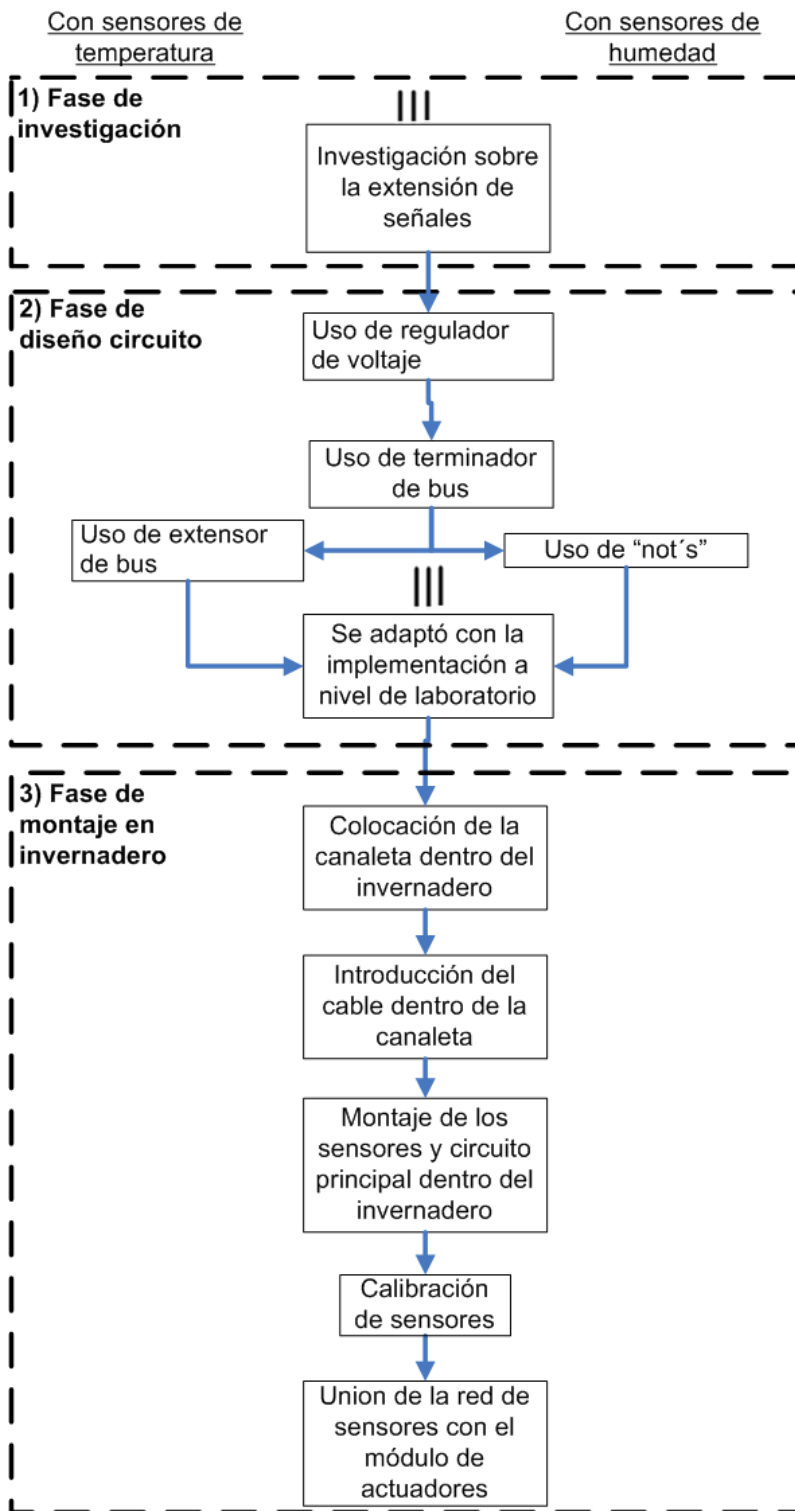
Trama para caso 4					
Bytes	1	2	3	4 al 18	19 al 20
Contenido	252	126	63	8 bytes de las mediciones de humedad + 4 bytes de las mediciones de temperatura + 2 bytes del promedio de humedad + 1 byte del promedio de temperatura	1 byte de setpoint de humedad y 1 byte de setpoint de temperatura

Figura No. 38 Trama para pedir los parámetros de calibración desde la compu al pic.

Trama para caso 5				
Bytes	1	2	3	4 al 35
Contenido	3	12	48	Bytes de relleno, representados con ceros

B. Implementación dentro del invernadero

Figura No. 39 Diagrama de bloques de la implementación dentro del invernadero.



1. **Fase de investigación.** Se hizo una búsqueda sobre cómo extender la distancia de transmisión del bus I²C, seleccionándose el extensor P82B715 que adicionalmente requirió de terminadores de bus de 500Ω.

Respecto a los sensores de humedad su señal pudo ser enviada a distancia.

2. **Fase de diseño circuito.** En las Figuras 40 y 41 se presentan modelos simplificados de la red de sensores de temperatura y humedad.

Figura No. 40 Diagrama de la red de sensores de temperatura.

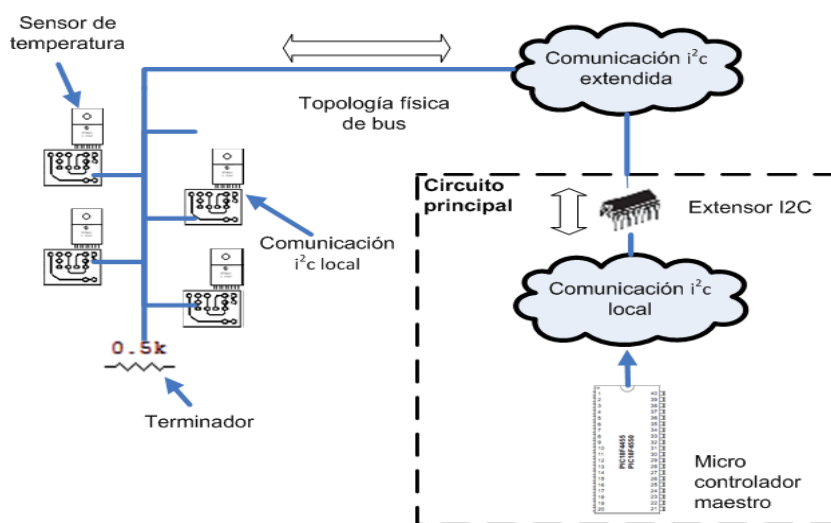
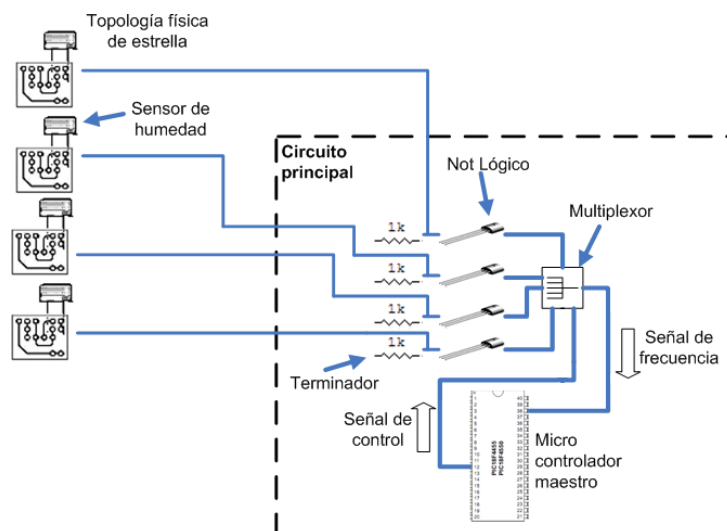
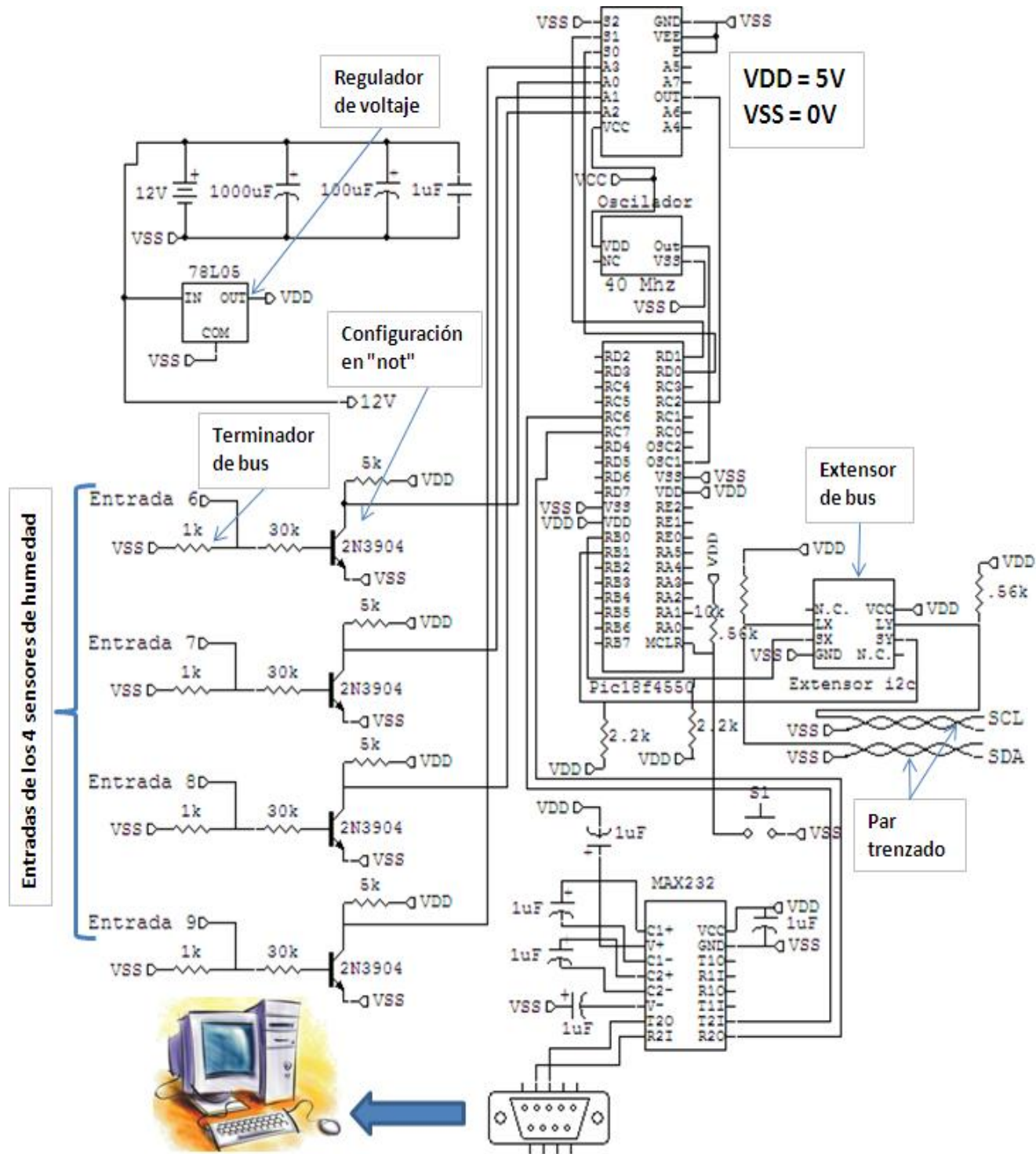


Figura No. 41 Diagrama de la red de sensores de humedad.



a) **Circuito principal.** Se construyó el circuito mostrado en la Figura 42 para el correcto funcionamiento de la red en presencia cables largos.

Figura No. 42 Circuito desarrollado para trabajar en el invernadero.



Toda la red se alimentó con 12 voltios, pero debido a que todos los dispositivos del circuito funcionaban a 5V, se les conectó reguladores de voltaje para cumplir con la condición eléctrica.

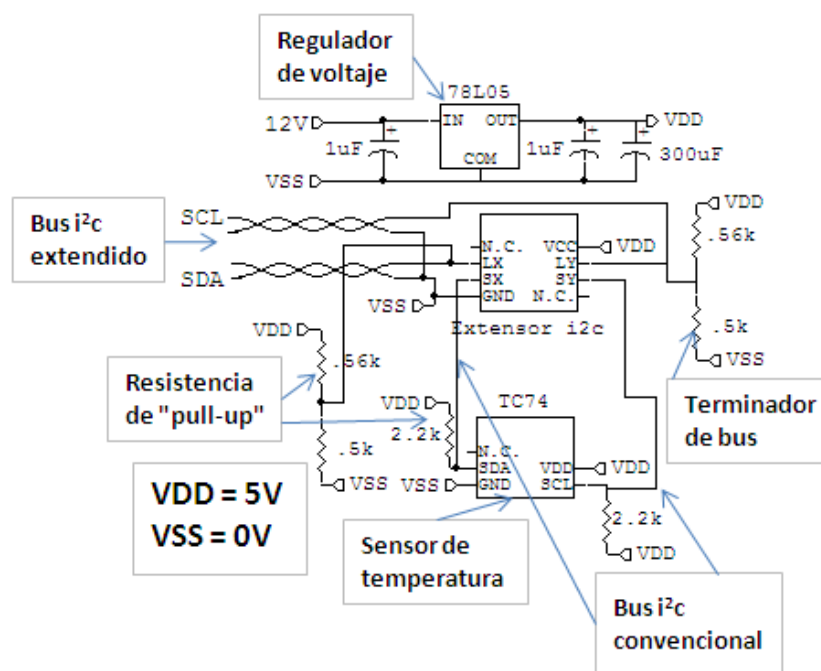
Además, se agregaron terminadores de línea de 1K en las entradas de señal de los sensores de humedad seguidos de “nots” hechos con transistores 2N2904.

Entre la unión de las líneas del bus I²C extendido y el local se colocó el extensor P82B715 y 2 resistencias de 560Ω conectadas como “pull-ups” del lado del bus extendido.

La conexión entre el circuito principal y los sensores colocados en el invernadero se hizo por medio de 2 terminales rj45.

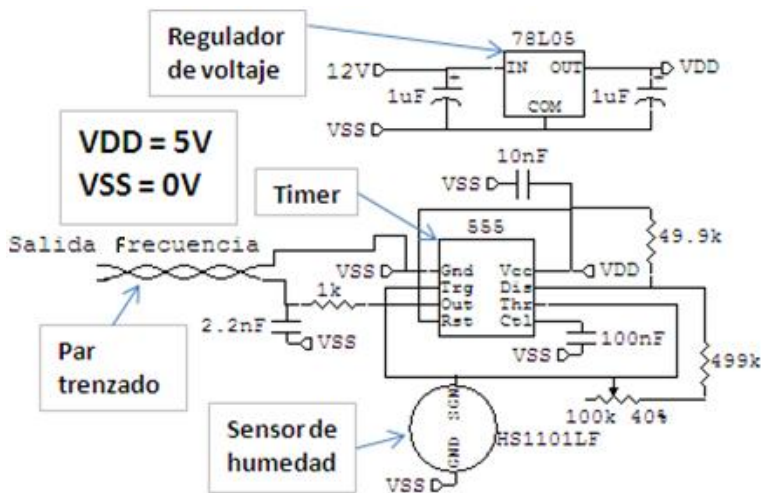
b) **Circuitos de los sensores.** A cada circuito de los sensores de temperatura se les colocó un regulador de 5 voltios, un extensor P82B715 y 2 resistencias de “pull-ups” de 2.2kΩ conectadas a las terminales SDA y SCL del sensor en su bus I²C local. Adicionalmente al sensor localizado a mayor distancia se le agregaron dos terminadores en cada línea de 500Ω y dos resistencias de “pull-up” de 560Ω antes del extensor, como muestra la Figura 43.

Figura No. 43 Circuito del sensor de temperatura para segundo diseño.



A los sensores de humedad únicamente se les conectó un regulador de voltaje (Figura 44).

Figura No. 44 Circuito del sensor de humedad para segundo diseño.



c) **PCB's.** A continuación en las Figuras 45, 46 y 47 se muestran los diseños de PCB's usados con la red de sensores.

Figura No. 45 Diseño del PCB del circuito principal.

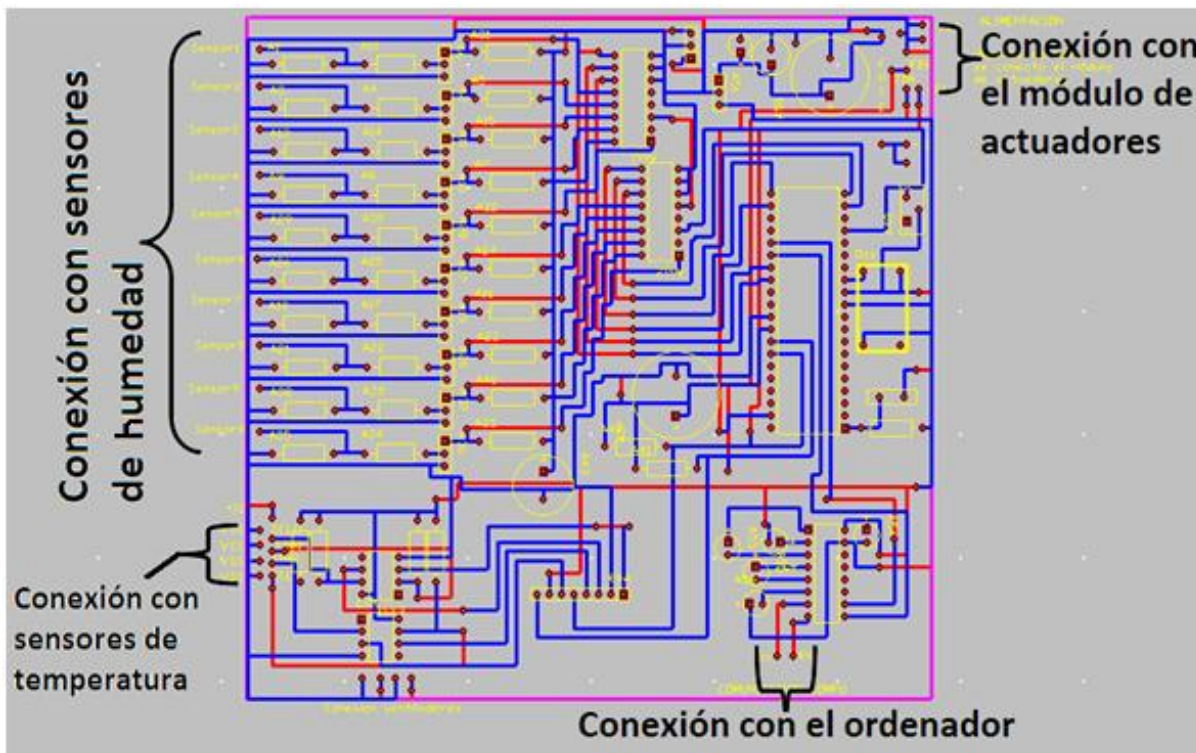


Figura No. 46 Diseño del PCB del circuito de humedad.

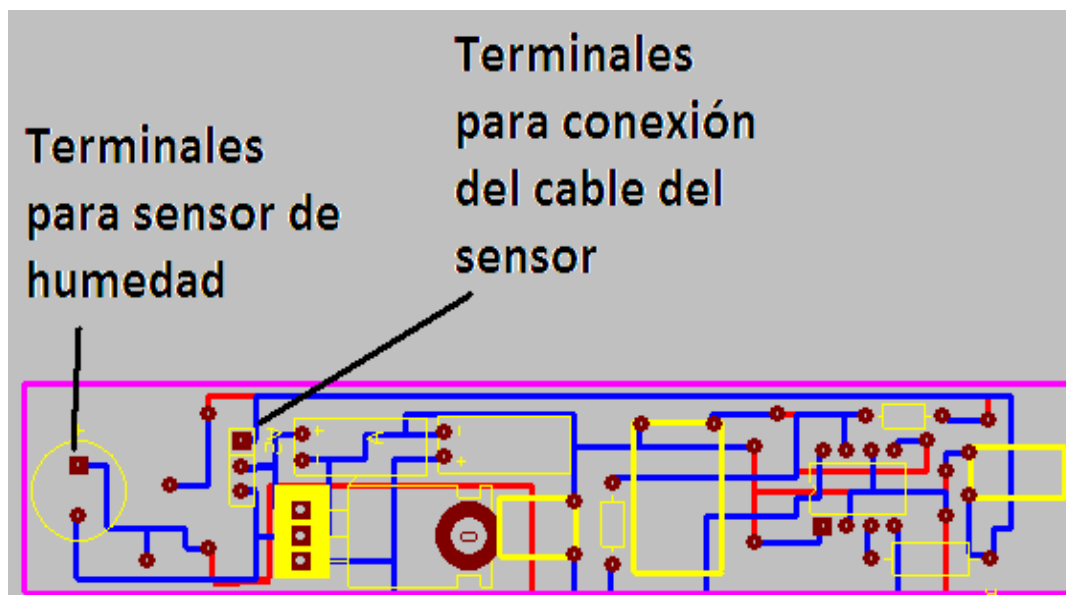
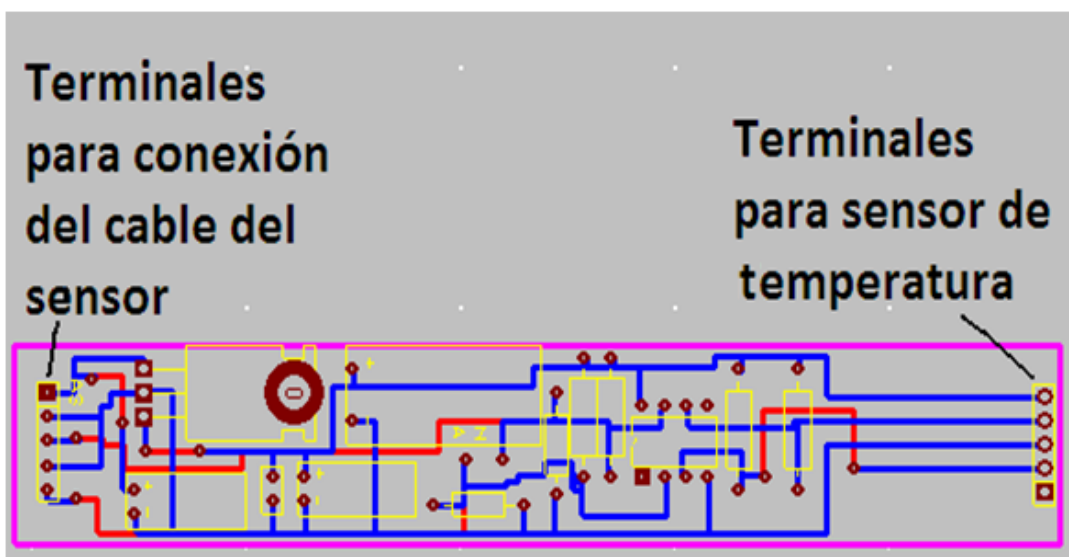


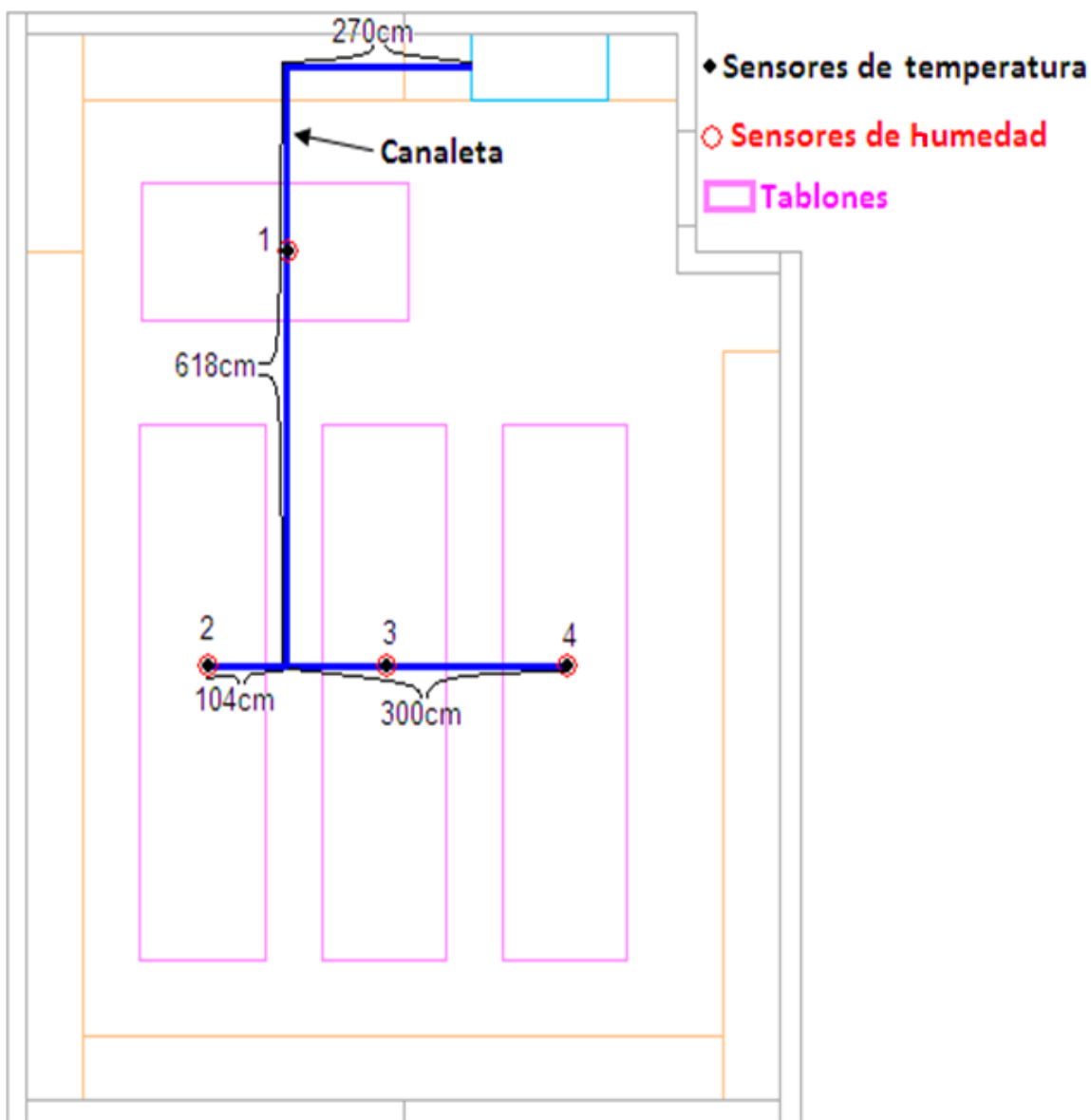
Figura No. 47 Diseño del PCB del circuito de temperatura.



3. Fase de montaje en invernadero

a) **Colocación de la canaleta dentro del invernadero.** La canaleta se fijó a la pared y costaneras buscando cubrir las ubicaciones de las macetas donde estarían los cultivos, obteniéndose una forma similar a la mostrada en la Figura 48, colocando el primer sensor a leer en 1 y el último en 4.

Figura No. 48 Distribución de ambos tipos de sensores dentro del invernadero.



b) **Introducción del cable dentro de la canaleta.** Posteriormente se introdujo el cable en la canaleta fragmentándolo y uniéndolo con las terminales Rj11 hembras como muestra la Figura 49 siguiendo el código de colores indicado en la Tabla 8 y Tabla 9 con las posiciones indicadas en la Figura 50.

Figura No. 49 Conexiones en cable con conector rj11.

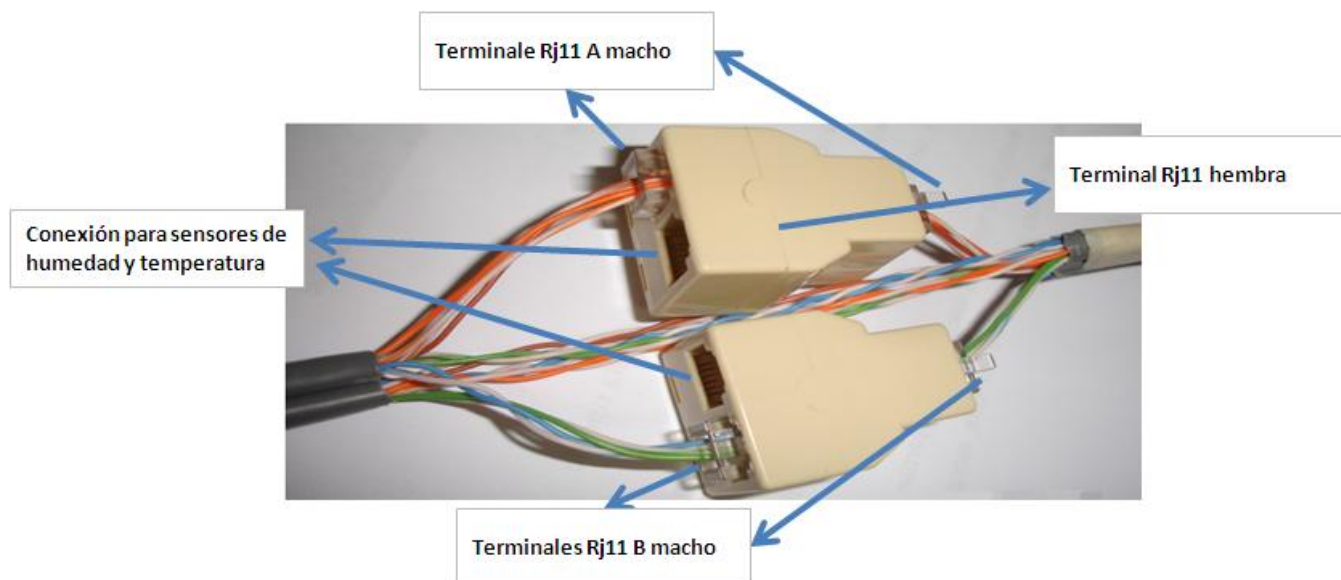


Figura No. 50 Numeración de canales en terminal Rj11 macho.

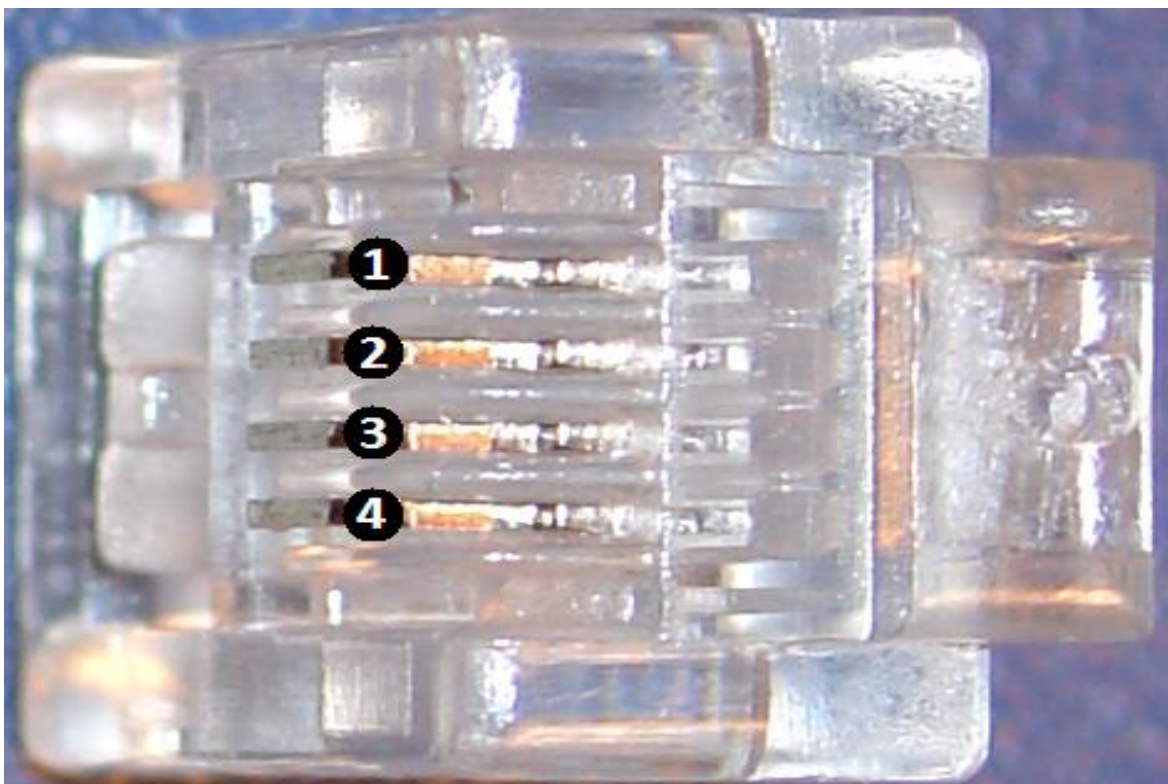


Tabla No. 8 Código de colores parte 1.

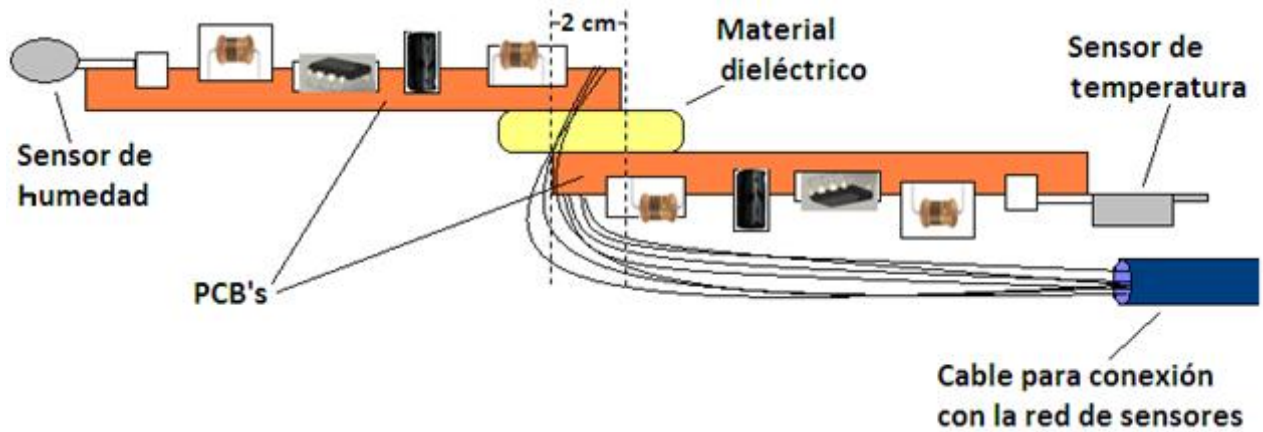
Posición en terminal Rj11	Terminal Rj11 A	Observación	Descripción de cada línea	
1	Café	Todas las posiciones se mantuvieron iguales para esta terminal	SDA TC74	Cable 1
2	Café con blanco		GND TC74	
3	Naranja		SCL TC74	
4	Naranja con blanco		GND TC74	

Tabla No. 9 Código de colores parte 2.

Posición en terminal Rj11	Terminal Rj11 B	Observación	Descripción de cada línea	
1	Azul	Únicamente las posiciones 1 y 2 permanecieron iguales para esta terminal	Vcc HS1101LF	Cable 1
2	Azul con blanco		Vcc TC74	
3	Color x con blanco= Café con blanco para sensor 1, Naranja con blanco para sensor 2, Verde con blanco para sensor 3 y Azul con blanco para sensor 4		GND de sensor x HS1101LF	Cable 2
4	Color x= Café para sensor 1, Naranja para sensor 2, Verde para sensor 3 y Azul para sensor 4		Señal de frecuencia de sensor x HS1101LF	

c) **Protección para circuitos de sensores.** Una vez soldados los circuitos de los sensores de humedad y temperatura, estos se colocaron estilo sándwich con sus componentes en dirección opuesta como muestra el diagrama de la Figura 51.

Figura No. 51 Colocación de los circuitos de los sensores.



Posteriormente se introdujeron en un tubo PVC de una pulgada de diámetro y se le colocaron tapones de silicón en los extremos como se muestra en la Figura 52, finalizando con la presentación de la Figura 53.

Figura No. 52 Tapones de silicón.

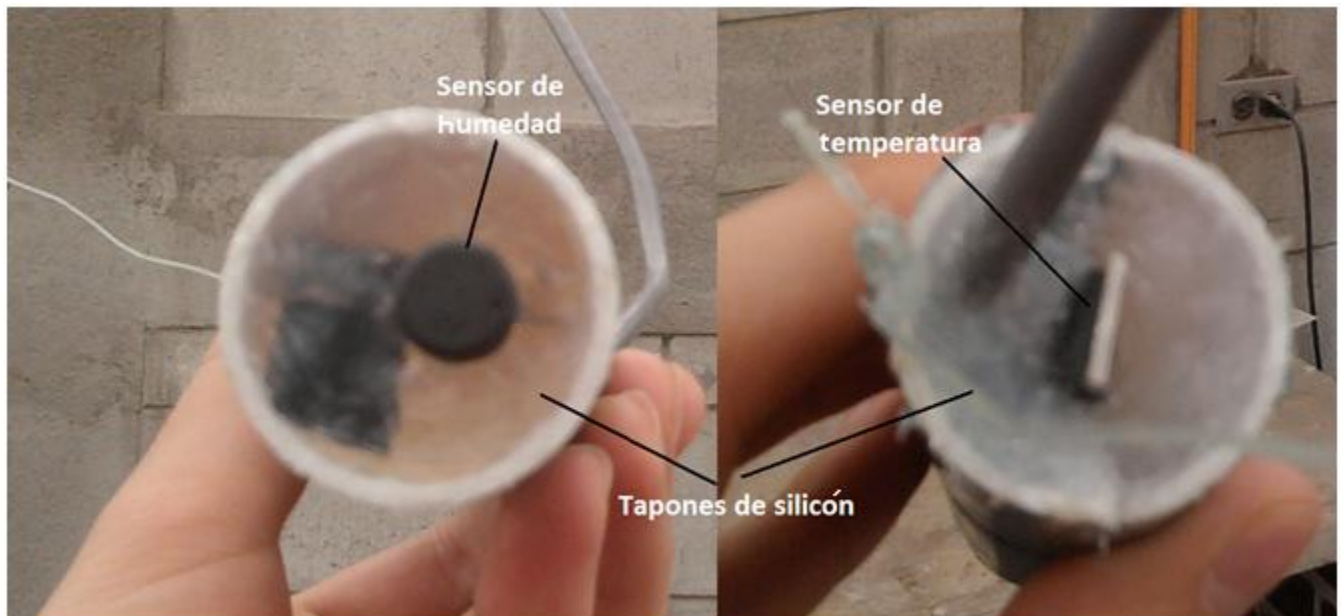
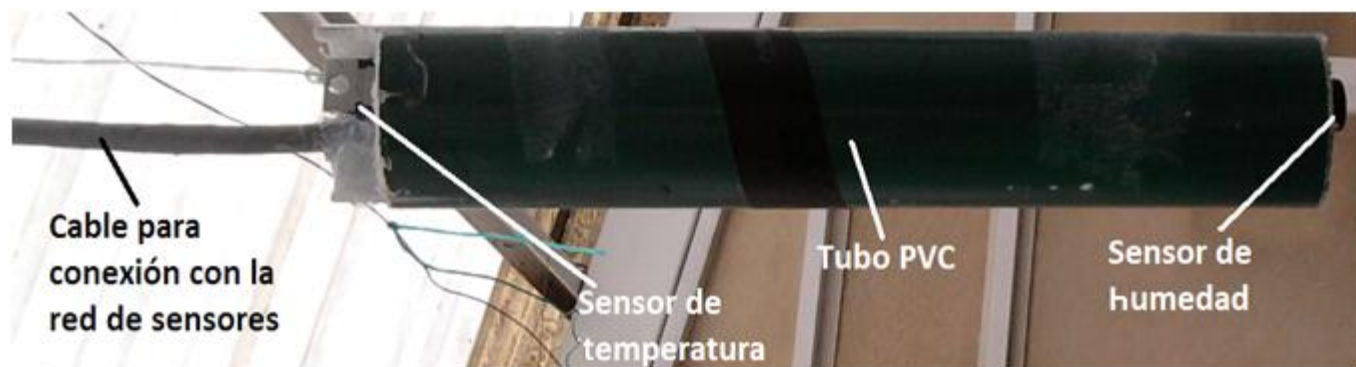


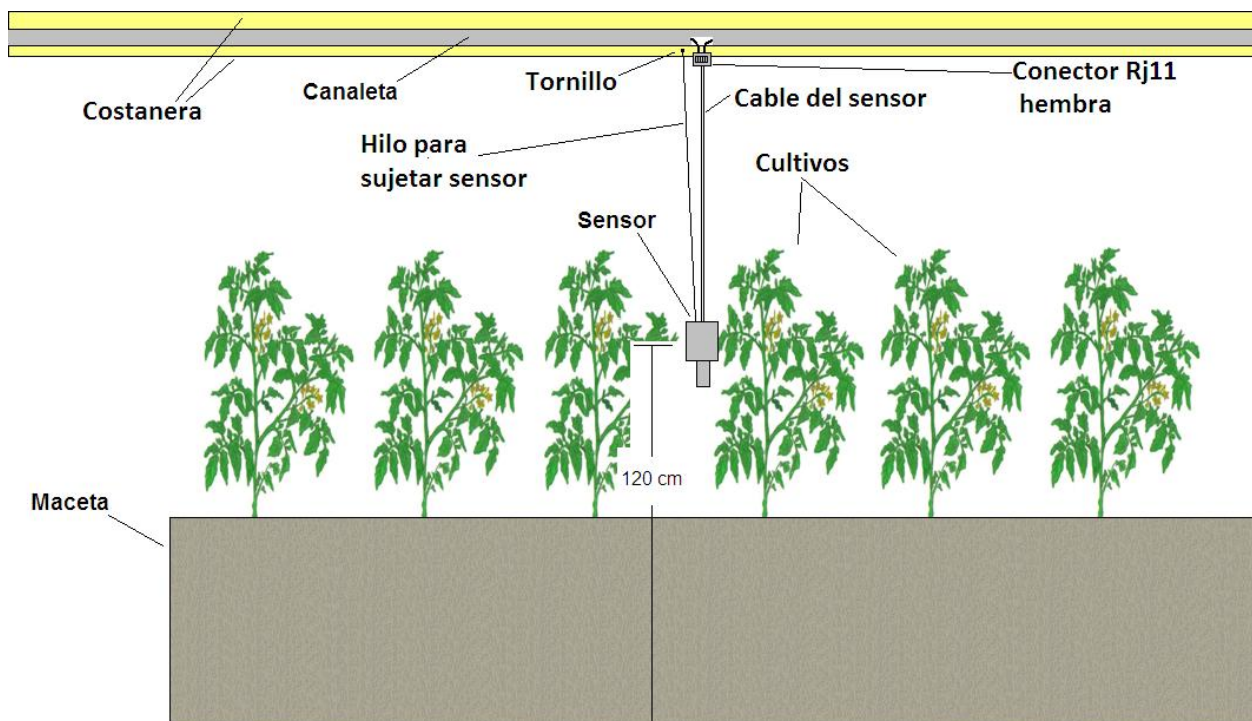
Figura No. 53 Protección de sensores de humedad y temperatura.



d) **Montaje de los sensores y circuito principal dentro del invernadero.** Cada sensor se sujetó a la costanera por medio de hilo de pescar amarrado a un tornillo cercano al agujero hecho en la canaleta por donde debía conectarse este con el cable de alimentación y transmisión de señales.

Finalmente se insertó el cable del sensor en el conector Rj11 hembra, como muestra la Figura 54.

Figura No. 54 Montaje de sensores en la costanera.



e) **Calibración de sensores.** Para lograr el mejor ajuste de las curvas de los transductores, se tomaron varias mediciones de cada uno de los sensores durante 8 horas en un día siguiendo los pasos descritos en la Figura 55 con los sensores de la red y los de referencia dispuestos como muestra la Figura 56. Posterior a la prueba se analizaron los resultados y se determinaron los parámetros A y B de la ecuación (14) que lograban obtener un comportamiento lineal en relación con las gráficas de referencia, para cada sensor de humedad y temperatura.

Figura No. 55 Pasos seguidos para la toma de mediciones de la red para su posterior calibración.

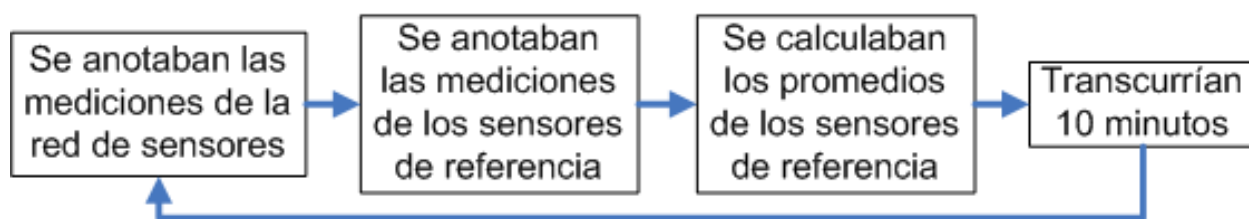
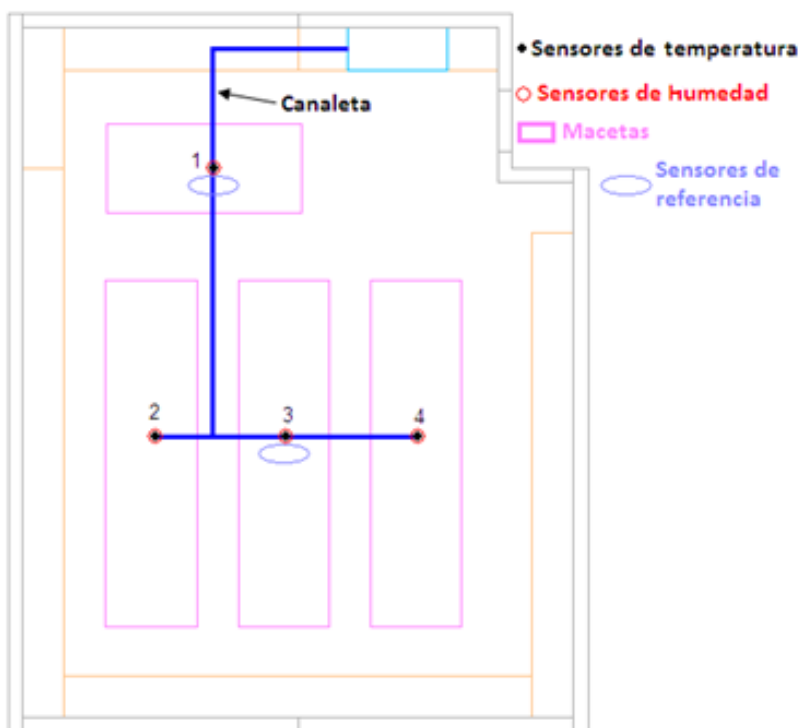


Figura No. 56 Ubicación de los sensores de la red y los de referencia para la toma de mediciones.



f) Unión de la red de sensores con el módulo de actuadores.

Finalmente se perforaron agujeros en el armario del invernadero y dentro del compartimento mostrado en la Figura 57, se unieron ambos módulos.

Figura No. 57 Unión de ambos módulos en el invernadero.



VI. RESULTADOS

Las Figuras 58, 59 y 60 muestran los PCB's utilizados con la red de sensores;

Figura No. 58 PCB del circuito principal.

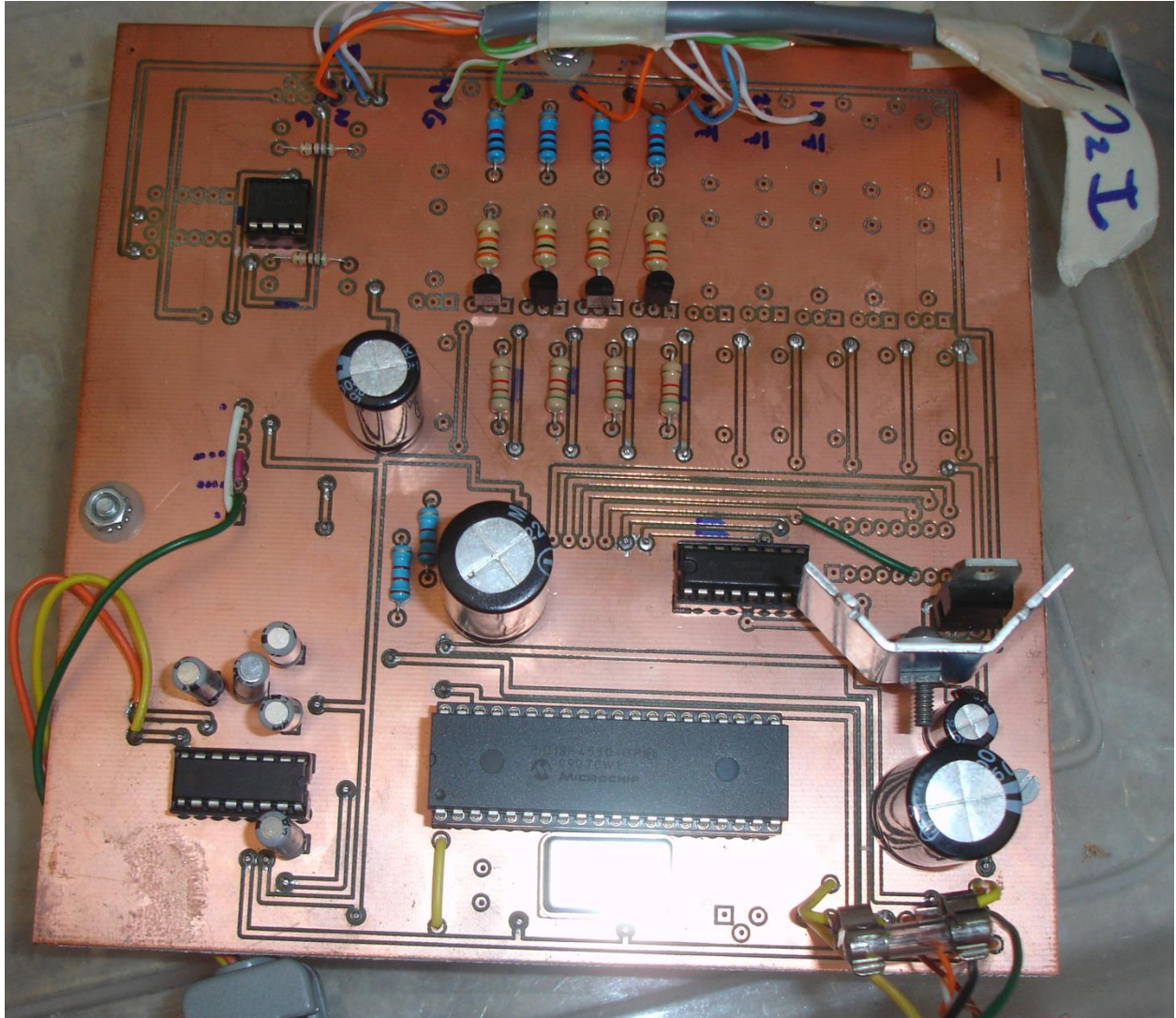


Figura No. 59 PCB del circuito del sensor de temperatura.

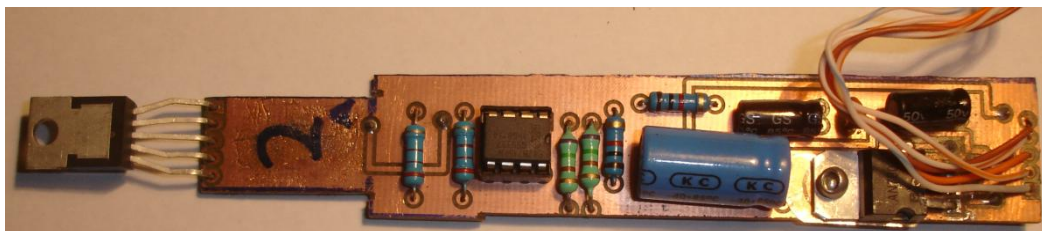
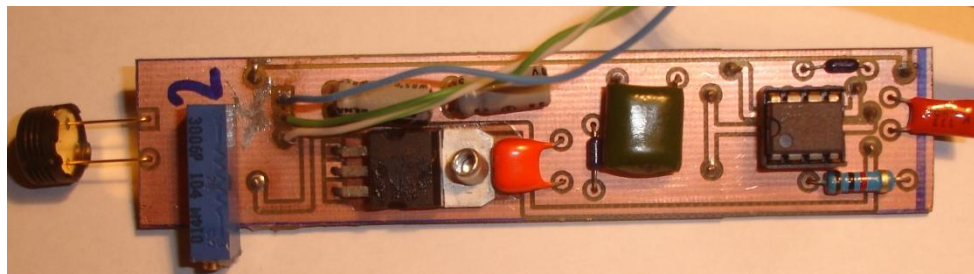
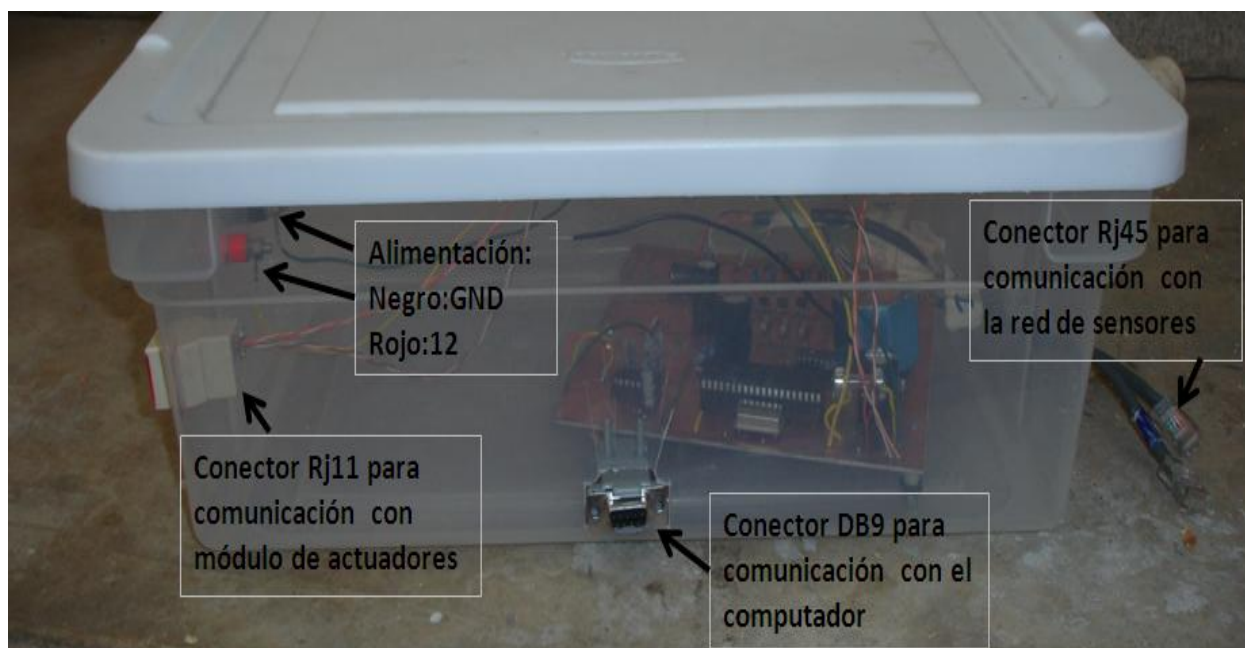


Figura No. 60 PCB del circuito del sensor de humedad.



El circuito principal se introdujo dentro de una caja plástica, fijándolo a la misma con tornillos, y dejando sus conexiones con la red de sensores, el ordenador y módulo de actuadores con acceso externo, como muestra la Figura 61.

Figura No. 61 Caja del circuito principal.



Las mediciones se tomaron en el orden indicado por la Figura 48.

A. Curvas de sensores de temperatura en °C

1. **Sensor de temperatura 1.** La Tabla 10 y la Tabla 11 muestran parte de la caracterización estática del sensor en un rango de temperatura de 18 a 33°C.

Tabla No. 10 Caracterización estática del sensor de temperatura 1 en °C.

Temperatura de referencia promedio (°C)	Temperatura sensor 1 (°C)	Temperatura de referencia promedio (°C)	Temperatura sensor 1 (°C)
18	19	26	27
18	19	27	26
18	19	27	27
19	19	27	28
19	19	27	28
20	20	28	27
20	20	28	29
20	20	28	30
20	20	29	29
20	20	29	29
20	21	29	29
20	21	29	31
20	21	30	30
21	22	30	30
22	22	30	31
22	23	30	32
22	23	31	31
23	25	31	31
25	26	31	32
26	26	32	33
26	26	32	34
26	26	32	34
26	27	33	33

Tabla No. 11 Continuación de la caracterización estática del sensor de temperatura 1.

Error absoluto promedio (°C)	Error absoluto máximo (°C)	Exactitud (%)	Porcentaje de error promedio (%)	Porcentaje de error máximo (%)
0.6957	2	1.6	2.7620	8.6957

2. **Sensor de temperatura 2.** La Tabla 12 y la Tabla 13 muestran parte de la caracterización estática del sensor en un rango de temperatura de 18 a 33°C.

Tabla No. 12 Caracterización estática del sensor de temperatura 2 en °C.

Temperatura de referencia promedio (°C)	Temperatura sensor 2 (°C)
18	18
18	18
18	18
19	19
19	19
20	20
20	20
20	20
20	20
20	20
20	20
20	20
20	20
20	20
20	20
21	21
22	22
22	23
22	23
23	25

Temperatura de referencia promedio (°C)	Temperatura sensor 2 (°C)
26	27
27	26
27	27
27	27
27	28
28	27
28	28
28	30
29	29
29	29
29	29
29	30
30	30
30	30
30	31
30	32
31	31
31	32

Continuación Tabla 12.

Temperatura de referencia promedio (°C)	Temperatura sensor 2 (°C)	Temperatura de referencia promedio (°C)	Temperatura sensor 2 (°C)
25	27	31	32
26	26	32	32
26	26	32	32
26	26	32	34
26	27	33	33

Tabla No. 13 Continuación de la caracterización estática del sensor de temperatura 2.

Error absoluto promedio (°C)	Error absoluto máximo (°C)	Exactitud (%)	Porcentaje de error promedio (%)	Porcentaje de error máximo (%)
0.4565	2	1.6	1.6902	8.6957

3. **Sensor de temperatura 3.** La Tabla 14 y la Tabla 15 muestran parte de la caracterización estática del sensor en un rango de temperatura de 18 a 33°C.

Tabla No. 14 Caracterización estática del sensor de temperatura 3 en °C.

Temperatura de referencia promedio (°C)	Temperatura sensor 3 (°C)	Temperatura de referencia promedio (°C)	Temperatura sensor 3 (°C)
18	17	26	26
18	17	27	26
18	18	27	26
19	18	27	26
19	19	27	27
20	20	28	27
20	20	28	28

Continuación Tabla 14.

Temperatura de referencia promedio (°C)	Temperatura sensor 3 (°C)	Temperatura de referencia promedio (°C)	Temperatura sensor 3 (°C)
20	20	28	29
20	20	29	28
20	20	29	29
20	20	29	29
20	20	29	30
20	20	30	30
21	21	30	30
22	22	30	30
22	23	30	31
22	23	31	31
23	25	31	31
25	26	31	32
26	25	32	32
26	25	32	32
26	26	32	33
26	26	33	32

Tabla No. 15 Continuación de la caracterización estática del sensor de temperatura 3.

Error absoluto promedio (°C)	Error absoluto máximo (°C)	Exactitud (%)	Porcentaje de error promedio (%)	Porcentaje de error máximo(%)
0.4565	2	1.6	1.8200	8.6957

4. **Sensor de temperatura 4.** La Tabla 16 y la Tabla 17 muestran parte de la caracterización estática del sensor en un rango de temperatura de 18 a 33°C.

Tabla No. 16 Caracterización estática del sensor de temperatura 4 en °C.

Temperatura de referencia promedio (°C)	Temperatura sensor 4 (°C)
18	16
18	17
18	18
19	18
19	19
20	20
20	20
20	20
20	20
20	20
20	20
20	20
20	20
20	20
20	20
21	21
22	22
22	23
22	24
23	25
25	27
26	25
26	25
26	26
26	26

Temperatura de referencia promedio (°C)	Temperatura sensor 4 (°C)
26	27
27	26
27	27
27	27
27	27
28	27
28	28
28	28
29	28
29	28
29	28
29	28
29	29
30	29
30	30
30	30
30	30
31	30
31	30
31	32
32	32
32	32
32	33
33	34

Tabla No. 17 Continuación de la caracterización estática del sensor de temperatura 4.

Error absoluto promedio (°C)	Error absoluto máximo (°C)	Exactitud (%)	Porcentaje de error promedio (%)	Porcentaje de error máximo (%)
0.5435	2	1.6	2.1867	11.1111

5. **Gráficas de la variación de temperatura de los sensores de la red vs los sensores de referencia.** A continuación, en la Figura 62 se presenta una gráfica de la temperatura de los sensores de la red vs la temperatura de referencia, y en la Figura 63 la gráfica de la temperatura promedio de la red vs la temperatura de referencia.

Figura No. 62 Gráfica de temperatura de la red vs temperatura de referencia (°C).

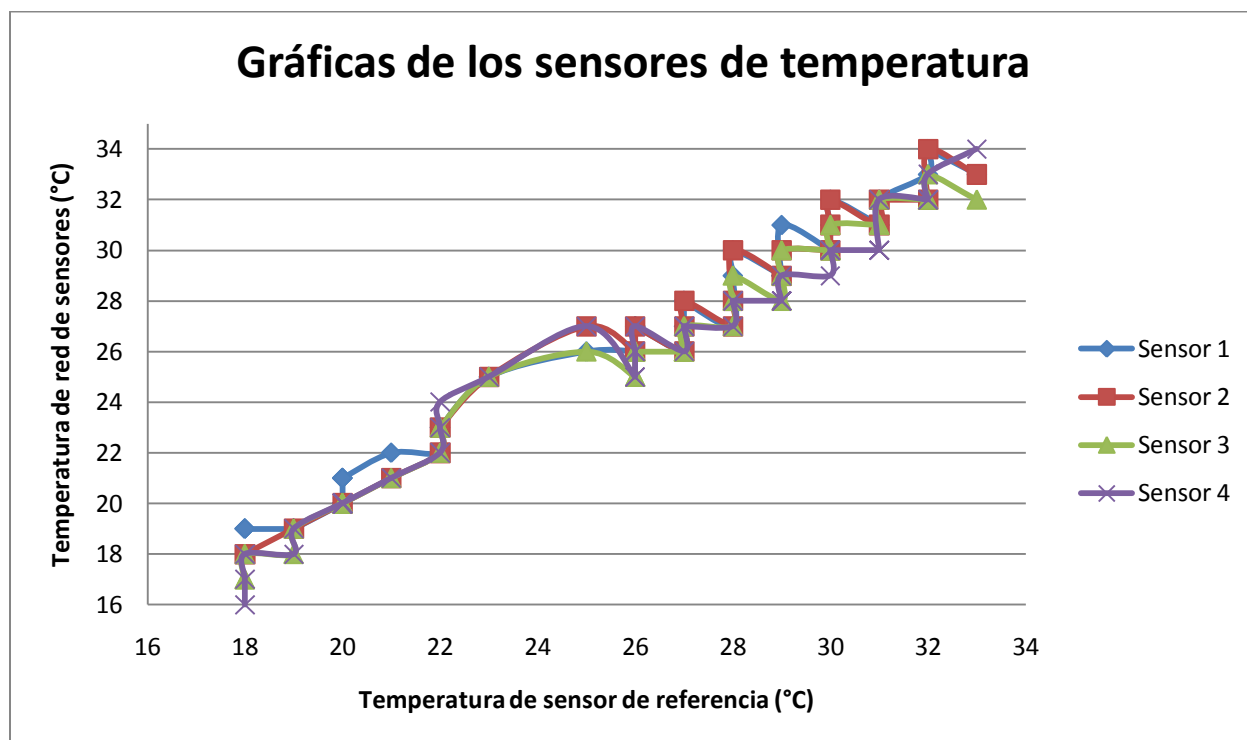
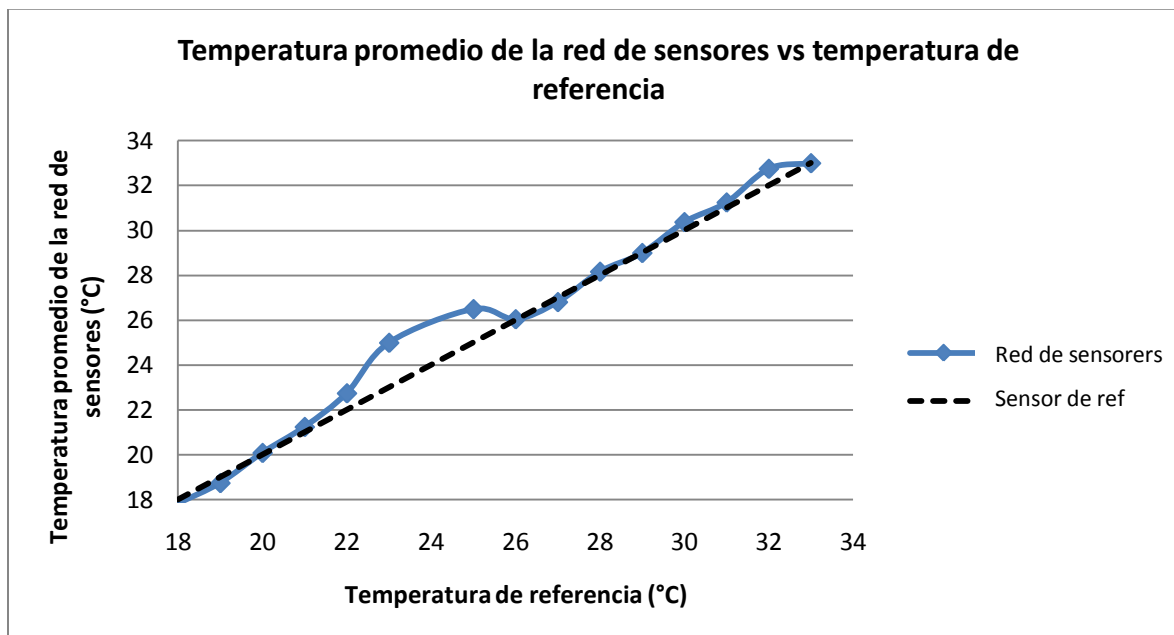


Figura No. 63 Gráfica de temperatura promedio de la red vs temperatura de referencia (°C).



B. Curvas de sensores de humedad en conteo de pulsos

1. **Sensor de humedad 1.** La Tabla 18 muestra la relación entre la humedad relativa y la cantidad de pulsos medidos. Para un rango de humedad del 50 al 78%.

Tabla No. 18 Relación entre humedad relativa y la cantidad de pulsos medidos para el sensor 1.

Humedad de referencia promedio (%)	Humedad sensor 1 (pulsos)
50	317
51	317
51	317
51	318
51	319
52	317
52	319
53	318

Humedad de referencia promedio (%)	Humedad sensor 1 (pulsos)
58	322
59	321
59	321
59	321
60	322
61	323
62	322
63	324

Continuación Tabla 18.

Humedad de referencia promedio (%)	Humedad sensor 1 (pulsos)	Humedad de referencia promedio (%)	Humedad sensor 1 (pulsos)
53	319	63	324
54	319	64	322
54	320	65	323
54	320	67	324
55	320	69	324
55	320	71	325
56	320	72	325
56	320	73	326
56	321	74	326
56	321	75	326
57	319	77	327
57	320	78	327
57	320	78	327

2. **Sensor de humedad 2.** La Tabla 19 muestra la relación entre la humedad relativa y la cantidad de pulsos medidos. Para un rango de humedad del 50 al 78%.

Tabla No. 19 Relación entre humedad relativa y la cantidad de pulsos medidos para el sensor 2.

Humedad de referencia promedio (%)	Humedad sensor 2 (pulsos)	Humedad de referencia promedio (%)	Humedad sensor 2 (pulsos)
50	315	58	320
51	315	59	318
51	316	59	319
51	316	59	319
51	317	60	321

Continuación Tabla 19.

Humedad de referencia promedio (%)	Humedad sensor 2 (pulsos)	Humedad de referencia promedio (%)	Humedad sensor 2 (pulsos)
52	315	61	320
52	317	62	320
53	316	63	322
53	317	63	322
54	317	64	321
54	318	65	322
54	319	67	323
55	318	69	323
55	318	71	324
56	318	72	324
56	318	73	325
56	319	74	325
56	319	75	325
57	316	77	327
57	317	78	327
57	318	78	327

3. **Sensor de humedad 3.** La Tabla 20 muestra la relación entre la humedad relativa y la cantidad de pulsos medidos. Para un rango de humedad del 50 al 78%.

Tabla No. 20 Relación entre humedad relativa y la cantidad de pulsos medidos para el sensor 3.

Humedad de referencia promedio (%)	Humedad sensor 3 (pulsos)	Humedad de referencia promedio (%)	Humedad sensor 3 (pulsos)
50	316	58	320
51	316	59	319
51	316	59	320

Continuación Tabla 20.

Humedad de referencia promedio (%)	Humedad sensor 3 (pulsos)	Humedad de referencia promedio (%)	Humedad sensor 3 (pulsos)
51	317	59	320
51	317	60	321
52	316	61	321
52	318	62	321
53	317	63	322
53	318	63	322
54	318	64	322
54	319	65	322
54	319	67	324
55	318	69	324
55	319	71	325
56	318	72	326
56	319	73	326
56	319	74	326
56	319	75	327
57	317	77	328
57	318	78	328
57	319	78	328

4. **Sensor de humedad 4.** La Tabla 21 muestra la relación entre la humedad relativa y la cantidad de pulsos medidos. Para un rango de humedad del 50 al 78%.

Tabla No. 21 Relación entre humedad relativa y la cantidad de pulsos medidos para el sensor 4.

Humedad de referencia promedio (%)	Humedad sensor 4 (pulsos)	Humedad de referencia promedio (%)	Humedad sensor 4 (pulsos)
50	323	58	328
51	324	59	327
51	324	59	327
51	325	59	328
51	325	60	329
52	324	61	329
52	326	62	328
53	325	63	330
53	326	63	330
54	326	64	329
54	326	65	330
54	327	67	331
55	326	69	331
55	326	71	332
56	326	72	333
56	327	73	333
56	327	74	334
56	327	75	334
57	325	77	335
57	326	78	336
57	327	78	336

C. Obtención de K promedio

1. Sensor de humedad 1

a) **Obtención de frecuencia.** La Tabla 22 muestra la conversión de pulsos a frecuencia a partir de un tiempo de ejecución de $0.5\mu\text{s}$ por instrucción en el micro controlador.

Tabla No. 22 Conversión de conteo de pulsos a frecuencia para el sensor 1.

Humedad sensor 1 (pulsos)	Tiempo (seg)	Frecuencia (Hz)
317	1.59E-04	6.31E+03
317	1.59E-04	6.31E+03
317	1.59E-04	6.31E+03
318	1.59E-04	6.29E+03
319	1.60E-04	6.27E+03
317	1.59E-04	6.31E+03
319	1.60E-04	6.27E+03
318	1.59E-04	6.29E+03
319	1.60E-04	6.27E+03
319	1.60E-04	6.27E+03
320	1.60E-04	6.25E+03
320	1.60E-04	6.25E+03
320	1.60E-04	6.25E+03
320	1.60E-04	6.25E+03
320	1.60E-04	6.25E+03
320	1.60E-04	6.25E+03
321	1.61E-04	6.23E+03

Humedad sensor 1 (pulsos)	Tiempo (seg)	Frecuencia (Hz)
322	1.61E-04	6.21E+03
321	1.61E-04	6.23E+03
321	1.61E-04	6.23E+03
321	1.61E-04	6.23E+03
322	1.61E-04	6.21E+03
323	1.62E-04	6.19E+03
322	1.61E-04	6.21E+03
324	1.62E-04	6.17E+03
324	1.62E-04	6.17E+03
322	1.61E-04	6.21E+03
323	1.62E-04	6.19E+03
324	1.62E-04	6.17E+03
324	1.62E-04	6.17E+03
325	1.63E-04	6.15E+03
325	1.63E-04	6.15E+03
326	1.63E-04	6.13E+03
326	1.63E-04	6.13E+03

Continuación Tabla 22.

Humedad sensor 1 (pulsos)	Tiempo (seg)	Frecuencia (Hz)	Humedad sensor 1 (pulsos)	Tiempo (seg)	Frecuencia (Hz)
321	1.61E-04	6.23E+03	326	1.63E-04	6.13E+03
319	1.60E-04	6.27E+03	327	1.64E-04	6.12E+03
320	1.60E-04	6.25E+03	327	1.64E-04	6.12E+03
320	1.60E-04	6.25E+03	327	1.64E-04	6.12E+03

b) Obtención de constante K. La Tabla 23 y la Tabla 24 muestran la obtención de la constante K para una variación de humedad relativa del 50 al 78%.

Tabla No. 23 Obtención de la constante K para una variación de humedad para el sensor 1.

Humedad de referencia promedio (%)	Capacitancia (pF)	Frecuencia (Hz)	Constante K sensor 1
50	178.48	6.31E+03	1.13E-06
51	178.77	6.27E+03	1.12E-06
51	178.77	6.31E+03	1.13E-06
51	178.77	6.31E+03	1.13E-06
51	178.77	6.29E+03	1.12E-06
52	179.07	6.27E+03	1.12E-06
52	179.07	6.31E+03	1.13E-06
53	179.37	6.29E+03	1.13E-06
53	179.37	6.27E+03	1.12E-06
54	179.66	6.25E+03	1.12E-06
54	179.66	6.27E+03	1.13E-06
54	179.66	6.25E+03	1.12E-06
55	179.95	6.25E+03	1.12E-06
55	179.95	6.25E+03	1.12E-06
56	180.25	6.25E+03	1.13E-06

Continuación Tabla 23.

Humedad de referencia promedio (%)	Capacitancia (pF)	Frecuencia (Hz)	Constante K sensor 1
56	180.25	6.23E+03	1.12E-06
56	180.25	6.23E+03	1.12E-06
56	180.25	6.25E+03	1.13E-06
57	180.54	6.25E+03	1.13E-06
57	180.54	6.25E+03	1.13E-06
57	180.54	6.27E+03	1.13E-06

Tabla No. 24 Continuación de la obtención de la constante K para una variación de humedad para el sensor 1.

Humedad de referencia promedio (%)	Capacitancia (pF)	Frecuencia (Hz)	Constante K sensor 1
58	180.83	6.21E+03	1.12E-06
59	181.12	6.23E+03	1.13E-06
59	181.12	6.23E+03	1.13E-06
59	181.12	6.23E+03	1.13E-06
60	181.41	6.21E+03	1.13E-06
61	181.7	6.19E+03	1.13E-06
62	181.99	6.21E+03	1.13E-06
63	182.28	6.17E+03	1.13E-06
63	182.28	6.17E+03	1.13E-06
64	182.57	6.21E+03	1.13E-06
65	182.86	6.19E+03	1.13E-06
67	183.44	6.17E+03	1.13E-06
69	184.02	6.17E+03	1.14E-06
71	184.59	6.15E+03	1.14E-06

Continuación Tabla 24.

Humedad de referencia promedio (%)	Capacitancia (pF)	Frecuencia (Hz)	Constante K sensor 1
72	184.88	6.15E+03	1.14E-06
73	185.17	6.13E+03	1.14E-06
74	185.46	6.13E+03	1.14E-06
75	185.74	6.13E+03	1.14E-06
77	186.32	6.12E+03	1.14E-06
78	186.61	6.12E+03	1.14E-06
78	186.61	6.12E+03	1.14E-06

La Tabla 25 muestra la K promedio del sensor

Tabla No. 25 K promedio del sensor de humedad 1.

K promedio
1.13E-06

2. Sensor de humedad 2

a) **Obtención de frecuencia.** La Tabla 26 muestra la conversión de pulsos a frecuencia a partir de un tiempo de ejecución de $0.5\mu\text{s}$ por instrucción en el micro controlador.

Tabla No. 26 Conversión de conteo de pulsos a frecuencia para el sensor 2.

Humedad sensor 2 (pulsos)	Tiempo (seg)	Frecuencia (Hz)
315	1.58E-04	6.35E+03
315	1.58E-04	6.35E+03
316	1.58E-04	6.33E+03
316	1.58E-04	6.33E+03

Humedad sensor 2 (pulsos)	Tiempo (seg)	Frecuencia (Hz)
320	1.60E-04	6.25E+03
318	1.59E-04	6.29E+03
319	1.60E-04	6.27E+03
319	1.60E-04	6.27E+03

Continuación Tabla 26.

Humedad sensor 2 (pulsos)	Tiempo (seg)	Frecuencia (Hz)	Humedad sensor 2 (pulsos)	Tiempo (seg)	Frecuencia (Hz)
317	1.59E-04	6.31E+03	321	1.61E-04	6.23E+03
315	1.58E-04	6.35E+03	320	1.60E-04	6.25E+03
317	1.59E-04	6.31E+03	320	1.60E-04	6.25E+03
316	1.58E-04	6.33E+03	322	1.61E-04	6.21E+03
317	1.59E-04	6.31E+03	322	1.61E-04	6.21E+03
317	1.59E-04	6.31E+03	321	1.61E-04	6.23E+03
318	1.59E-04	6.29E+03	322	1.61E-04	6.21E+03
319	1.60E-04	6.27E+03	323	1.62E-04	6.19E+03
318	1.59E-04	6.29E+03	323	1.62E-04	6.19E+03
318	1.59E-04	6.29E+03	324	1.62E-04	6.17E+03
318	1.59E-04	6.29E+03	324	1.62E-04	6.17E+03
318	1.59E-04	6.29E+03	325	1.63E-04	6.15E+03
319	1.60E-04	6.27E+03	325	1.63E-04	6.15E+03
319	1.60E-04	6.27E+03	325	1.63E-04	6.15E+03
316	1.58E-04	6.33E+03	327	1.64E-04	6.12E+03
317	1.59E-04	6.31E+03	327	1.64E-04	6.12E+03
318	1.59E-04	6.29E+03	327	1.64E-04	6.12E+03

b) **Obtención de constante K.** La Tabla 27 y la Tabla 28 muestran la obtención de la constante K para una variación de humedad relativa del 50 al 78%.

Tabla No. 27 Obtención de la constante K para una variación de humedad para el sensor 2.

Humedad de referencia promedio (%)	Capacitancia (pF)	Frecuencia (Hz)	Constante K sensor 2
50	178.48	6.35E+03	1.13E-06
51	178.77	6.33E+03	1.13E-06
51	178.77	6.35E+03	1.14E-06
51	178.77	6.33E+03	1.13E-06
51	178.77	6.31E+03	1.13E-06
52	179.07	6.31E+03	1.13E-06
52	179.07	6.35E+03	1.14E-06
53	179.37	6.33E+03	1.14E-06
53	179.37	6.31E+03	1.13E-06
54	179.66	6.29E+03	1.13E-06
54	179.66	6.31E+03	1.13E-06
54	179.66	6.27E+03	1.13E-06
55	179.95	6.29E+03	1.13E-06
55	179.95	6.29E+03	1.13E-06
56	180.25	6.29E+03	1.13E-06
56	180.25	6.27E+03	1.13E-06
56	180.25	6.29E+03	1.13E-06
56	180.25	6.27E+03	1.13E-06
57	180.54	6.31E+03	1.14E-06
57	180.54	6.29E+03	1.14E-06
57	180.54	6.33E+03	1.14E-06

Tabla No. 28 Continuación de la obtención de la constante K para una variación de humedad para el sensor 2.

Humedad de referencia promedio (%)	Capacitancia (pF)	Frecuencia (Hz)	Constante K sensor 2
58	180.83	6.25E+03	1.13E-06
59	181.12	6.27E+03	1.14E-06
59	181.12	6.29E+03	1.14E-06
59	181.12	6.27E+03	1.14E-06
60	181.41	6.23E+03	1.13E-06
61	181.7	6.25E+03	1.14E-06
62	181.99	6.25E+03	1.14E-06
63	182.28	6.21E+03	1.13E-06
63	182.28	6.21E+03	1.13E-06
64	182.57	6.23E+03	1.14E-06
65	182.86	6.21E+03	1.14E-06
67	183.44	6.19E+03	1.14E-06
69	184.02	6.19E+03	1.14E-06
71	184.59	6.17E+03	1.14E-06
72	184.88	6.17E+03	1.14E-06
73	185.17	6.15E+03	1.14E-06
74	185.46	6.15E+03	1.14E-06
75	185.74	6.15E+03	1.14E-06
77	186.32	6.12E+03	1.14E-06
78	186.61	6.12E+03	1.14E-06
78	186.61	6.12E+03	1.14E-06

La Tabla 29 muestra la K promedio del sensor.

Tabla No. 29 K promedio del sensor de humedad 2.

K promedio
1.14E-06

3. Sensor de humedad 3

a) **Obtención de frecuencia.** La Tabla 30 muestra la conversión de pulsos a frecuencia a partir de un tiempo de ejecución de $0.5\mu\text{s}$ por instrucción en el micro controlador.

Tabla No. 30 Conversión de conteo de pulsos a frecuencia para el sensor 3.

Humedad sensor 3 (pulsos)	Tiempo (seg)	Frecuencia (Hz)
316	1.58E-04	6.33E+03
316	1.58E-04	6.33E+03
316	1.58E-04	6.33E+03
317	1.59E-04	6.31E+03
317	1.59E-04	6.31E+03
316	1.58E-04	6.33E+03
318	1.59E-04	6.29E+03
317	1.59E-04	6.31E+03
318	1.59E-04	6.29E+03
318	1.59E-04	6.29E+03
319	1.60E-04	6.27E+03
319	1.60E-04	6.27E+03
318	1.59E-04	6.29E+03
319	1.60E-04	6.27E+03

Humedad sensor 3 (pulsos)	Tiempo (seg)	Frecuencia (Hz)
320	1.60E-04	6.25E+03
319	1.60E-04	6.27E+03
320	1.60E-04	6.25E+03
320	1.60E-04	6.25E+03
321	1.61E-04	6.23E+03
321	1.61E-04	6.23E+03
321	1.61E-04	6.23E+03
322	1.61E-04	6.21E+03
322	1.61E-04	6.21E+03
322	1.61E-04	6.21E+03
322	1.61E-04	6.21E+03
324	1.62E-04	6.17E+03
324	1.62E-04	6.17E+03
325	1.63E-04	6.15E+03

Continuación Tabla 30.

Humedad sensor 3 (pulsos)	Tiempo (seg)	Frecuencia (Hz)	Humedad sensor 3 (pulsos)	Tiempo (seg)	Frecuencia (Hz)
318	1.59E-04	6.29E+03	326	1.63E-04	6.13E+03
319	1.60E-04	6.27E+03	326	1.63E-04	6.13E+03
319	1.60E-04	6.27E+03	326	1.63E-04	6.13E+03
319	1.60E-04	6.27E+03	327	1.64E-04	6.12E+03
317	1.59E-04	6.31E+03	328	1.64E-04	6.10E+03
318	1.59E-04	6.29E+03	328	1.64E-04	6.10E+03
319	1.60E-04	6.27E+03	328	1.64E-04	6.10E+03

b) **Obtención de constante K.** La Tabla 31 y la Tabla 32 muestran la obtención de la constante K para una variación de humedad relativa del 50 al 78%.

Tabla No. 31 Obtención de la constante K para una variación de humedad para el sensor 3.

Humedad de referencia promedio (%)	Capacitancia (pF)	Frecuencia (Hz)	Constante K sensor 3
50	178.48	6.33E+03	1.13E-06
51	178.77	6.31E+03	1.13E-06
51	178.77	6.33E+03	1.13E-06
51	178.77	6.33E+03	1.13E-06
51	178.77	6.31E+03	1.13E-06
52	179.07	6.29E+03	1.13E-06
52	179.07	6.33E+03	1.13E-06
53	179.37	6.31E+03	1.13E-06
53	179.37	6.29E+03	1.13E-06
54	179.66	6.27E+03	1.13E-06
54	179.66	6.29E+03	1.13E-06

Continuación Tabla 31.

Humedad de referencia promedio (%)	Capacitancia (pF)	Frecuencia (Hz)	Constante K sensor 3
54	179.66	6.27E+03	1.13E-06
55	179.95	6.27E+03	1.13E-06
55	179.95	6.29E+03	1.13E-06
56	180.25	6.29E+03	1.13E-06
56	180.25	6.27E+03	1.13E-06
56	180.25	6.27E+03	1.13E-06
56	180.25	6.27E+03	1.13E-06
57	180.54	6.29E+03	1.14E-06
57	180.54	6.27E+03	1.13E-06
57	180.54	6.31E+03	1.14E-06

Tabla No. 32 Continuación de la obtención de la constante K para una variación de humedad para el sensor 3.

Humedad de referencia promedio (%)	Capacitancia (pF)	Frecuencia (Hz)	Constante K sensor 3
58	180.83	6.25E+03	1.13E-06
59	181.12	6.25E+03	1.13E-06
59	181.12	6.27E+03	1.14E-06
59	181.12	6.25E+03	1.13E-06
60	181.41	6.23E+03	1.13E-06
61	181.7	6.23E+03	1.13E-06
62	181.99	6.23E+03	1.13E-06
63	182.28	6.21E+03	1.13E-06
63	182.28	6.21E+03	1.13E-06
64	182.57	6.21E+03	1.13E-06
65	182.86	6.21E+03	1.14E-06

Continuación Tabla 32.

Humedad de referencia promedio (%)	Capacitancia (pF)	Frecuencia (Hz)	Constante K sensor 3
67	183.44	6.17E+03	1.13E-06
69	184.02	6.17E+03	1.14E-06
71	184.59	6.15E+03	1.14E-06
72	184.88	6.13E+03	1.13E-06
73	185.17	6.13E+03	1.14E-06
74	185.46	6.13E+03	1.14E-06
75	185.74	6.12E+03	1.14E-06
77	186.32	6.10E+03	1.14E-06
78	186.61	6.10E+03	1.14E-06
78	186.61	6.10E+03	1.14E-06

La Tabla 33 muestra la K promedio del sensor.

Tabla No. 33 K promedio del sensor de humedad 3.

K promedio
1.13E-06

4. Sensor de humedad 4

a) **Obtención de frecuencia.** La Tabla 34 muestra la conversión de pulsos a frecuencia a partir de un tiempo de ejecución de $0.5\mu\text{s}$ por instrucción en el micro controlador.

Tabla No. 34 Conversión de conteo de pulsos a frecuencia para el sensor 4.

Humedad sensor 4 (pulsos)	Tiempo (seg)	Frecuencia (Hz)
323	1.62E-04	6.19E+03
324	1.62E-04	6.17E+03
324	1.62E-04	6.17E+03
325	1.63E-04	6.15E+03
325	1.63E-04	6.15E+03
324	1.62E-04	6.17E+03
326	1.63E-04	6.13E+03
325	1.63E-04	6.15E+03
326	1.63E-04	6.13E+03
326	1.63E-04	6.13E+03
326	1.63E-04	6.13E+03
327	1.64E-04	6.12E+03
326	1.63E-04	6.13E+03
326	1.63E-04	6.13E+03
326	1.63E-04	6.13E+03
326	1.63E-04	6.13E+03
327	1.64E-04	6.12E+03
327	1.64E-04	6.12E+03
327	1.64E-04	6.12E+03
325	1.63E-04	6.15E+03
326	1.63E-04	6.13E+03
327	1.64E-04	6.12E+03

Humedad sensor 4 (pulsos)	Tiempo (seg)	Frecuencia (Hz)
328	1.64E-04	6.10E+03
327	1.64E-04	6.12E+03
327	1.64E-04	6.12E+03
328	1.64E-04	6.10E+03
329	1.65E-04	6.08E+03
329	1.65E-04	6.08E+03
328	1.64E-04	6.10E+03
330	1.65E-04	6.06E+03
330	1.65E-04	6.06E+03
329	1.65E-04	6.08E+03
330	1.65E-04	6.06E+03
331	1.66E-04	6.04E+03
331	1.66E-04	6.04E+03
332	1.66E-04	6.02E+03
333	1.67E-04	6.01E+03
333	1.67E-04	6.01E+03
334	1.67E-04	5.99E+03
334	1.67E-04	5.99E+03
335	1.68E-04	5.97E+03
336	1.68E-04	5.95E+03
336	1.68E-04	5.95E+03

b) **Obtención de constante K.** La Tabla 35 y la Tabla 36 muestran la obtención de la constante K para una variación de humedad relativa del 50 al 78%.

Tabla No. 35 Obtención de la constante K para una variación de humedad para el sensor 4.

Humedad de referencia promedio (%)	Capacitancia (pF)	Frecuencia (Hz)	Constante K sensor 4
50	178.48	6.19E+03	1.11E-06
51	178.77	6.15E+03	1.10E-06
51	178.77	6.17E+03	1.10E-06
51	178.77	6.17E+03	1.10E-06
51	178.77	6.15E+03	1.10E-06
52	179.07	6.13E+03	1.10E-06
52	179.07	6.17E+03	1.11E-06
53	179.37	6.15E+03	1.10E-06
53	179.37	6.13E+03	1.10E-06
54	179.66	6.12E+03	1.10E-06
54	179.66	6.13E+03	1.10E-06
54	179.66	6.13E+03	1.10E-06
55	179.95	6.13E+03	1.10E-06
55	179.95	6.13E+03	1.10E-06
56	180.25	6.13E+03	1.11E-06
56	180.25	6.12E+03	1.10E-06
56	180.25	6.12E+03	1.10E-06
56	180.25	6.12E+03	1.10E-06
57	180.54	6.13E+03	1.11E-06
57	180.54	6.12E+03	1.10E-06
57	180.54	6.15E+03	1.11E-06

Tabla No. 36 Continuación de la obtención de la constante K para una variación de humedad para el sensor 4.

Humedad de referencia promedio (%)	Capacitancia (pF)	Frecuencia (Hz)	Constante K sensor 4
58	180.83	6.10E+03	1.10E-06
59	181.12	6.12E+03	1.11E-06
59	181.12	6.12E+03	1.11E-06
59	181.12	6.10E+03	1.10E-06
60	181.41	6.08E+03	1.10E-06
61	181.7	6.08E+03	1.10E-06
62	181.99	6.10E+03	1.11E-06
63	182.28	6.06E+03	1.10E-06
63	182.28	6.06E+03	1.10E-06
64	182.57	6.08E+03	1.11E-06
65	182.86	6.06E+03	1.11E-06
67	183.44	6.04E+03	1.11E-06
69	184.02	6.04E+03	1.11E-06
71	184.59	6.02E+03	1.11E-06
72	184.88	6.01E+03	1.11E-06
73	185.17	6.01E+03	1.11E-06
74	185.46	5.99E+03	1.11E-06
75	185.74	5.99E+03	1.11E-06
77	186.32	5.97E+03	1.11E-06
78	186.61	5.95E+03	1.11E-06
78	186.61	5.95E+03	1.11E-06

La Tabla 37 muestra la K promedio del sensor.

Tabla No. 37 K promedio del sensor de humedad 4.

K promedio
1.11E-06

D. Curvas de sensores de humedad en porcentaje de HR

1. **Sensor de humedad 1.** La Tabla 38 muestra una comparación entre la humedad de referencia con la detectada por el sensor después de procesar su señal para un rango del 32 al 68%.

Tabla No. 38 Humedad relativa obtenida a partir del procesamiento de la señal del sensor 1.

Humedad de referencia promedio (%)	Humedad sensor 1 (%)
32	33
33	31
33	31
33	33
33	33
33	33
33	33
33	33
34	33
35	33
35	36
36	36
36	36
37	36
37	36
39	39
39	39
39	39
39	39
39	39
40	39
40	39

Humedad de referencia promedio (%)	Humedad sensor 1 (%)
41	42
42	42
42	44
43	44
45	46
49	48
50	51
53	54
55	56
58	59
59	59
59	59
59	59
60	62
61	62
62	62
62	62
62	62
62	62
64	64
65	64

Continuación Tabla 38.

Humedad de referencia promedio (%)	Humedad sensor 1 (%)	Humedad de referencia promedio (%)	Humedad sensor 1 (%)
40	39	66	64
41	42	68	67
41	42	68	67

La Tabla 39 muestra el error y exactitud del sensor 1.

Tabla No. 39 Caracterización estática del sistema empleado para la conversión de la señal del sensor 1 a humedad relativa.

Error absoluto promedio (% de HR)	Error absoluto máximo (% de HR)	Exactitud (%)	Porcentaje de error promedio (%)	Porcentaje de error máximo (%)
0.7391	2	1.6	1.7009	6.0606

2. **Sensor de humedad 2.** La Tabla 40 muestra una comparación entre la humedad de referencia con la detectada por el sensor después de procesar su señal para un rango del 32 al 68%.

Tabla No. 40 Humedad relativa obtenida a partir del procesamiento de la señal del sensor 2.

Humedad de referencia promedio (%)	Humedad sensor 2 (%)	Humedad de referencia promedio (%)	Humedad sensor 2 (%)
32	34	41	43
33	30	42	41
33	30	42	43
33	33	43	43
33	33	45	43

Continuación Tabla 40.

Humedad de referencia promedio (%)	Humedad sensor 2 (%)	Humedad de referencia promedio (%)	Humedad sensor 2 (%)
33	34	49	48
33	34	50	51
34	36	53	54
35	34	55	54
35	34	58	59
36	34	59	59
36	36	59	59
37	36	59	59
37	39	60	59
39	36	61	61
39	36	62	59
39	39	62	61
39	39	62	64
40	39	64	64
40	41	65	64
40	41	66	66
41	41	68	66
41	41	68	69

La Tabla 41 muestra el error y exactitud del sensor 2.

Tabla No. 41 Caracterización estática del sistema empleado para la conversión de la señal del sensor 2 a humedad relativa.

Error absoluto promedio (% de HR)	Error absoluto máximo (% de HR)	Exactitud (%)	Porcentaje de error promedio (%)	Porcentaje de error máximo (%)
1.0870	3	2.4	2.5975	9.0909

3. **Sensor de humedad 3.** La Tabla 42 muestra una comparación entre la humedad de referencia con la detectada por el sensor después de procesar su señal para un rango del 32 al 68%.

Tabla No. 42 Humedad relativa obtenida a partir del procesamiento de la señal del sensor 3.

Humedad de referencia promedio (%)	Humedad sensor 3 (%)
32	35
33	32
33	32
33	32
33	32
33	35
33	35
34	35
35	35
35	37
36	37
36	37
37	37
37	39
39	37
39	37
39	39
39	39
40	39

Humedad de referencia promedio (%)	Humedad sensor 3 (%)
41	43
42	42
42	42
43	42
45	43
49	48
50	48
53	53
55	56
58	58
59	58
59	61
59	61
60	61
61	63
62	61
62	63
62	63
64	65

Continuación Tabla 42.

Humedad de referencia promedio (%)	Humedad sensor 3 (%)	Humedad de referencia promedio (%)	Humedad sensor 3 (%)
40	42	65	65
40	42	66	65
41	42	68	68
41	43	68	69

La Tabla 43 muestra el error y exactitud del sensor 3.

Tabla No. 43 Caracterización estática del sistema empleado para la conversión de la señal del sensor 3 a humedad relativa.

Error absoluto promedio (% de HR)	Error absoluto máximo (% de HR)	Exactitud (%)	Porcentaje de error promedio (%)	Porcentaje de error máximo (%)
1.1522	3	2.4	2.7309	9.375

4. **Sensor de humedad 4.** La Tabla 44 muestra una comparación entre la humedad de referencia con la detectada por el sensor después de procesar su señal para un rango del 32 al 68%.

Tabla No. 44 Humedad relativa obtenida a partir del procesamiento de la señal del sensor 4.

Humedad de referencia promedio (%)	Humedad sensor 4 (%)	Humedad de referencia promedio (%)	Humedad sensor 4 (%)
32	34	41	46
33	28	42	40
33	31	42	43
33	31	43	43

Continuación Tabla 44.

Humedad de referencia promedio (%)	Humedad sensor 4 (%)	Humedad de referencia promedio (%)	Humedad sensor 4 (%)
33	31	45	43
33	34	49	48
33	34	50	48
34	36	53	54
35	34	55	54
35	36	58	56
36	36	59	58
36	36	59	58
37	36	59	58
37	39	60	58
39	39	61	60
39	39	62	60
39	39	62	60
39	40	62	63
40	40	64	66
40	40	65	66
40	40	66	68
41	43	68	68
41	43	68	71

La Tabla 45 muestra el error y exactitud del sensor 4.

Tabla No. 45 Caracterización estática del sistema empleado para la conversión de la señal del sensor 4 a humedad relativa.

Error absoluto promedio (% de HR)	Error absoluto máximo (% de HR)	Exactitud (%)	Porcentaje de error promedio (%)	Porcentaje de error máximo(%)
1.3696	5	4	3.1494	15.1515

5. **Gráficas de la variación de humedad relativa de los sensores de la red vs los sensores de referencia.** A continuación, en la Figura 64 se presenta una gráfica de la humedad relativa de los sensores de la red vs la humedad relativa de referencia, y en la Figura 65 la gráfica de la humedad relativa promedio de la red vs la humedad relativa de referencia.

Figura No. 64 Gráfica de humedad relativa de la red vs humedad relativa de referencia (%).

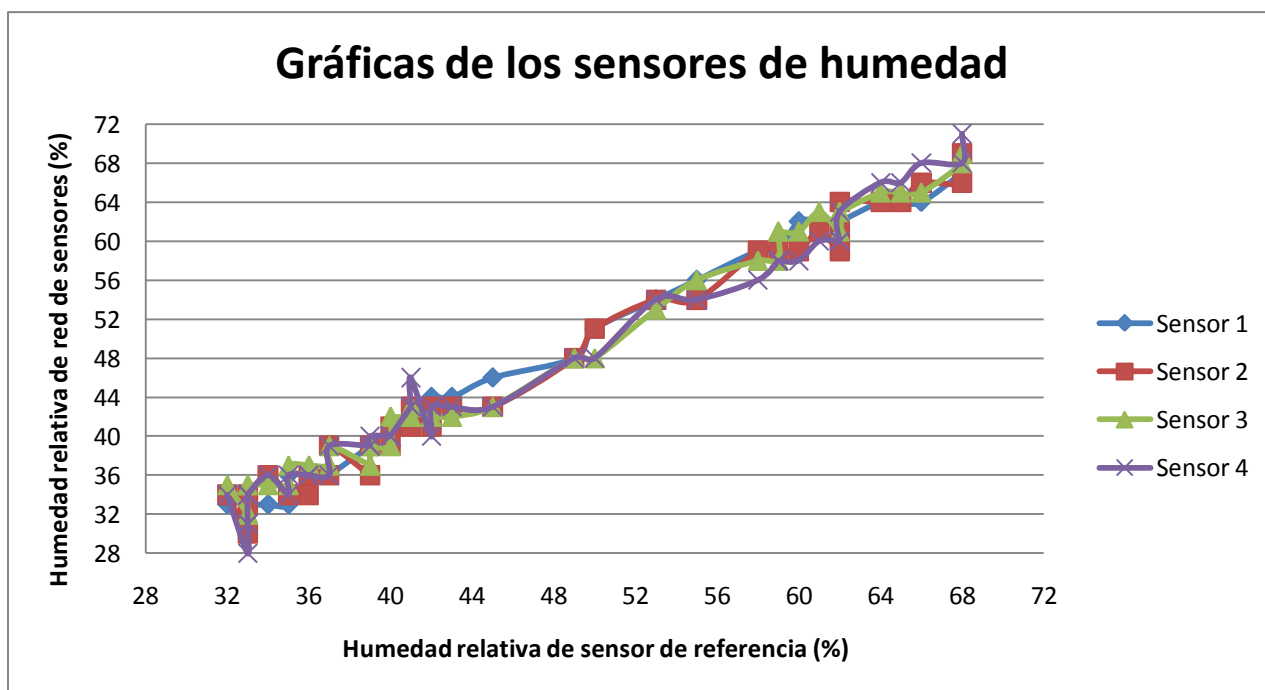
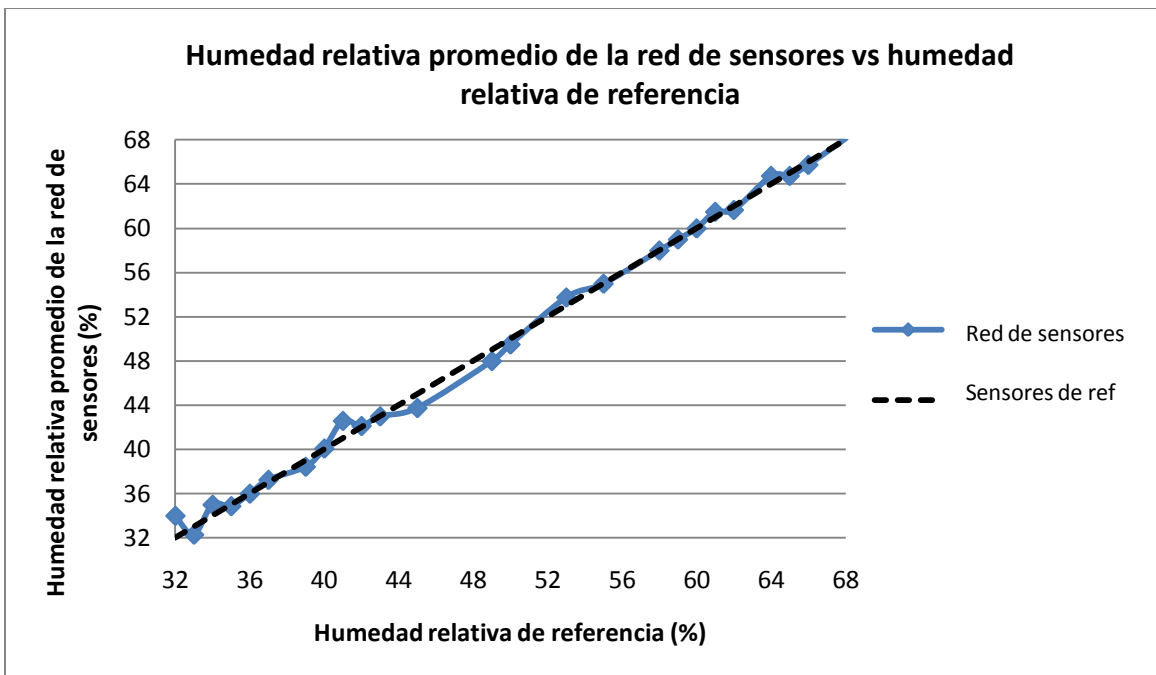


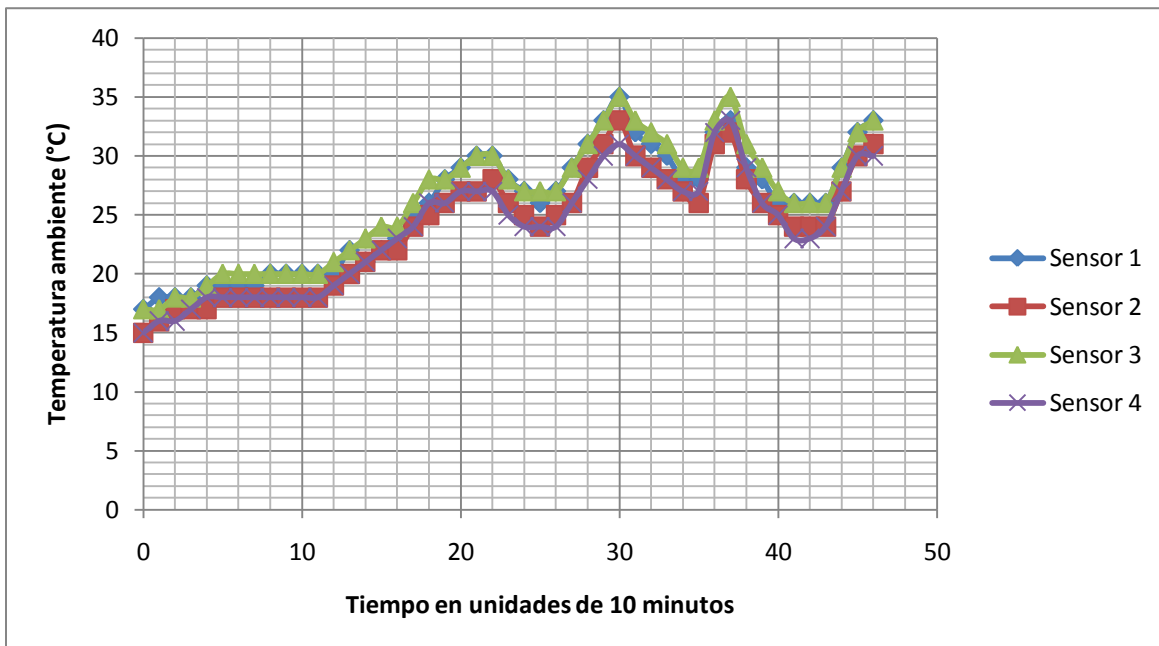
Figura No. 65 Gráfica de humedad relativa promedio de la red vs humedad relativa de referencia (%).



E. Variación de temperatura ambiente con respecto al tiempo

La Figura 66 muestra la variación de temperatura a lo largo de 8 horas.

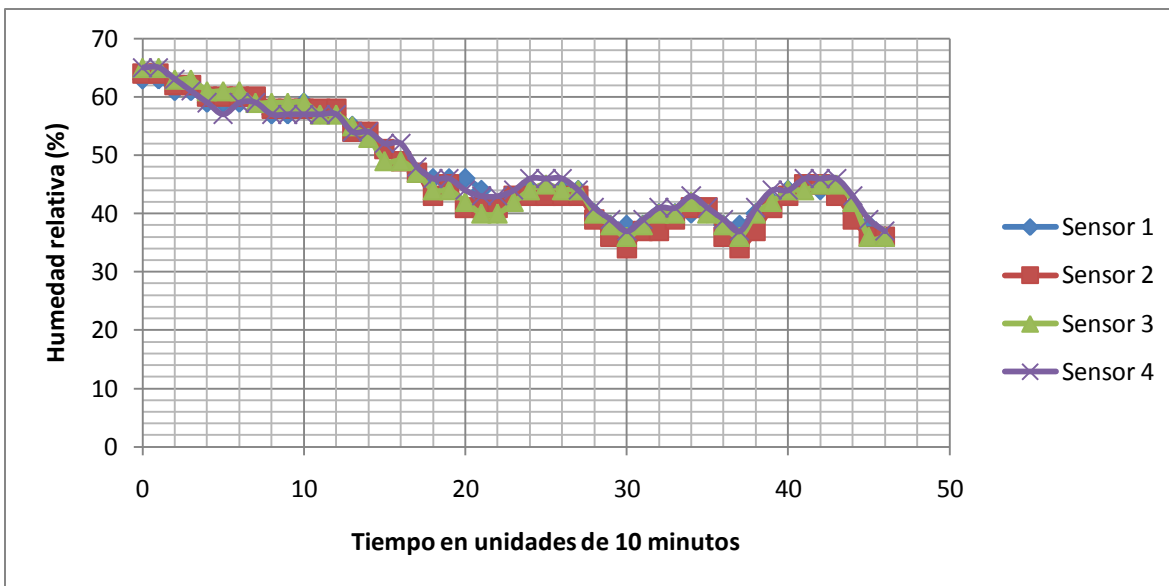
Figura No. 66 Variación de temperatura a través del tiempo.



F. Variación de humedad relativa con respecto al tiempo

La Figura 67 muestra la variación de humedad a lo largo de 8 horas.

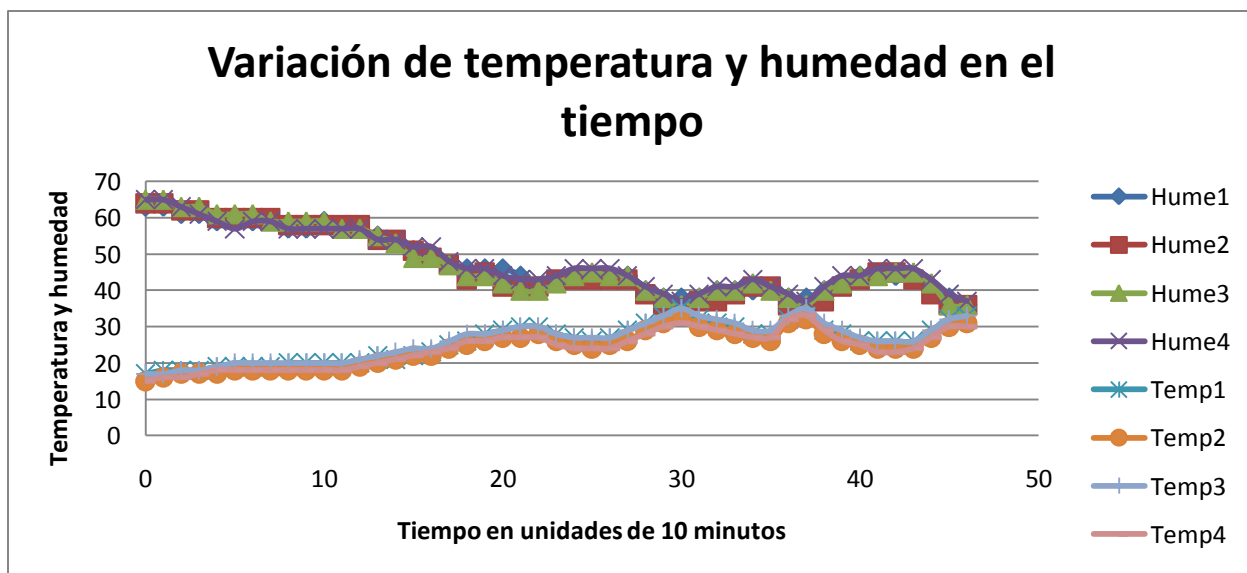
Figura No. 67 Variación de temperatura a través del tiempo.



G. Variación de humedad relativa y temperatura ambiente con respecto al tiempo

La Figura 68 muestra la variación de humedad relativa y temperatura lo largo de 8 horas.

Figura No. 68 Variación de temperatura y humedad relativa en el tiempo.



1. **Rango de la proporción de humedad.** A continuación se presenta el “Humidity Ratio” (Tabla 46) para las temperaturas y humedades relativas de la Figura 68.

Tabla No. 46 “Humidity ratio” de las temperaturas y humedades relativas de la Figura 68.

Temperatura promedio de sensores (°F)	Humedad promedio (%)	“Humidity ratio”
60	64	50-60
60	64	50-60
62	62	50-60
62	61	50-60
64	59	50-60
64	59	50-60
64	59	50-60
64	59	50-60
66	57	50-60
66	57	50-60
66	58	50-60
66	57	50-60
66	57	50-60
69	54	50-60
69	53	50-60
71	50	50-60
73	49	50-60

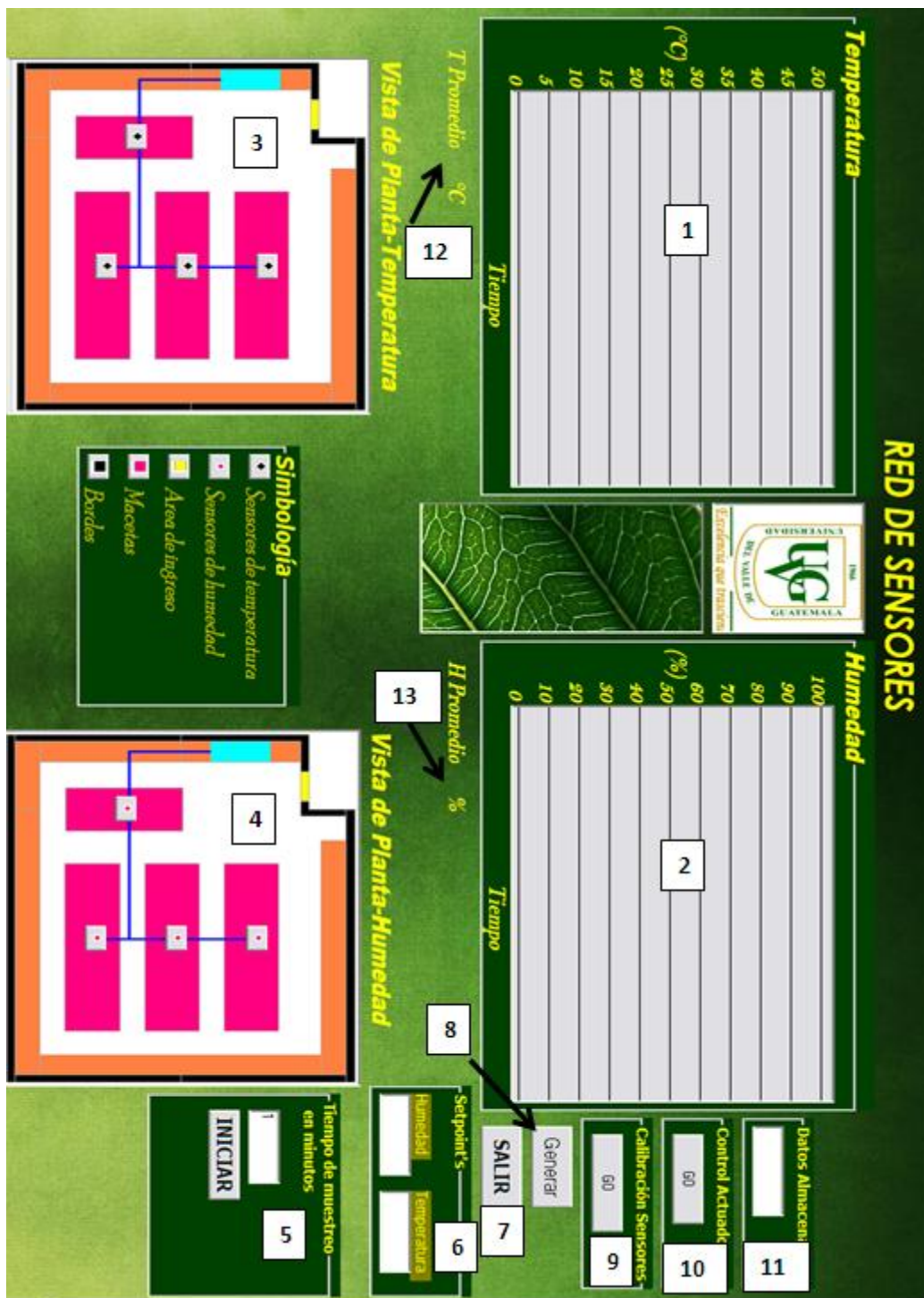
Continuación Tabla 46.

Temperatura promedio de sensores (°F)	Humedad promedio (%)	“Humidity ratio”
75	47	50-60
78	44	60-70
80	45	60-70
82	43	60-70
82	42	60-70
82	41	60-70
78	42	60-70
77	44	60-70
77	44	60-70
77	44	60-70
80	43	60-70
84	40	60-70
87	37	60-70
91	36	70-80
87	38	70-80
86	39	70-80

H. Programa del computador

En la Figura 69 se muestra la interfaz de usuario desarrollada:

Figura No. 69 Interfaz gráfica encargada, de interpretar la información proveída por el micro controlador.



- 1) Gráfica la variación de la temperatura promedio con respecto al tiempo. A la vez va cambiando el color de cada línea dibujada de forma proporcional a la magnitud medida con una escala de tonalidades que van del rojo (punto calientes) al azul (puntos fríos).
- 2) Gráfica la variación de la humedad relativa promedio con respecto al tiempo. A la vez va cambiando el color de cada línea dibujada de forma proporcional a la magnitud medida con una escala de tonalidades que van del rojo (punto calientes) al azul (puntos fríos).
- 3) Representa una vista de planta del invernadero a la que se le han superpuesto unos íconos representando los sensores de temperatura, que al acercarse con el ratón a uno de estos, muestran la magnitud de temperatura reportada por dicho sensor.
- 4) Representa una vista de planta del invernadero a la que se le han superpuesto unos íconos representando los sensores de humedad relativa, que al acercarse con el ratón a uno de estos, muestran la magnitud de humedad relativa reportada por dicho sensor.
- 5) Permite modificar el tiempo de muestreo de los sensores por la aplicación. Se **debe notar** que esta parte únicamente modifica a las mediciones almacenadas en Excel.
- 6) Muestra los "setpoints" con los que está trabajando el módulo de actuadores.
- 7) Para salir de la aplicación principal. Se **debe notar** que si se estaban almacenando datos en Excel y estos no se habían guardado previamente, saldrá un menú para grabar la información escrita en Excel en una ubicación específica del computador.
- 8) Contiene 2 botones, de los cuales el primero (Generar) sirve para almacenar las mediciones de los sensores en una hoja de Excel, y el segundo (Cerrar) se utiliza para cerrar la hoja de Excel. Se **debe notar** que nunca aparecen los dos botones al mismo tiempo y que al presionar uno, hará que el presionado se desaparezca y que aparezca el oculto y viceversa.
- 9) Permite la calibración de las curvas de los sensores de humedad relativa y temperatura ambiente. Al presionarlo se mostrará el submenú de la Figura 70.

Figura No. 70 Submenú para calibración de sensores.



Los números **9.1** y **9.2** representan las casillas donde se ingresan los parámetros de calibración. El número **9.3** es para solicitar que se muestren en **9.1** y **9.2** los parámetros de calibración con los que está trabajando el micro controlador. El número **9.4** es para recalibrar las curvas de los sensores en el pic18f4550 con los datos escritos en **9.1** y **9.2** notando que se pueden escribir números de 0 a 65,536 (16 bits de resolución).

Para restaurar la configuración de fábrica respecto a los parámetros de calibración se debe presionar **9.5**.

Para salir de este submenú y regresar a la forma principal se debe presionar **9.6**.

- 10)** Para configurar los “setpoints” de humedad relativa y temperatura ambiente del módulo de actuadores. Al presionarlo se mostrará el submenú de la Figura 71.

Figura No. 71 Submenú para configurar setpoints.



Al presionar en **10.1**, se envía el valor de **10.3** para que sea el nuevo “setpoint” de temperatura. De forma similar ocurre en **10.2** solo que ingresa el “setpoint” de humedad establecido en **10.4**.

Para apagar el módulo de actuadores se debe presionar **10.5** para deshabilitar el control de temperatura y **10.6** para el de humedad.

Para establecer la configuración de fábrica respecto a los “setpoints” se debe presionar **10.7**.

Para salir de este submenú y regresar a la forma principal se debe presionar **10.8**.

- 11)** Muestra cuantas mediciones han sido almacenadas en la hoja de Excel desde que se presionó el botón Generar localizado en 8.
- 12)** Representación numérica de la temperatura promedio graficada.
- 13)** Representación numérica de la humedad relativa promedio graficada.

VII. DISCUSIÓN

Todos los sensores se colgaron de la costanera del invernadero con hilo de pescar para evitar que se estirara su cable que a la vez hubiera dañado la conexión hecha con la terminal Rj11.

El uso de terminadores de bus se hizo esencial en la comunicación I²C ya que al transmitir la señal a una distancia mayor de 4 metros se observaron reflexiones de señal que le impedían al micro controlador reconocer adecuadamente el byte transmitido por el sensor esclavo, dando como resultado mediciones incorrectas.

Los terminadores colocados en las líneas de los sensores de humedad se utilizaron para atenuar el ruido que inducían los otros pares de alambres entre sí y de esta forma, se obtuvo una señal limpia. A la vez, se usó una etapa de amplificación ya que la terminal ccp1 del controlador requería de un voltaje superior al que quedaba después de la atenuación para su correcto funcionamiento.

Parte del código del micro controlador que fue implementado con lenguaje C, por ejemplo los segmentos de cálculos matemáticos para las ecuaciones (11), (12), y (14) debido a la complejidad que introducía hacerlo en assembler. Las rutinas de interrupción se programaron en assembler puesto que al utilizar el lenguaje C no fue capaz de detectar frecuencias de 5.7kHz a 7 kHz por lo que se obtuvieron mediciones erróneas. También se tuvo que implementar la rutina de recepción asíncrona en assembler debido a que el compilador no soportaba el uso conjunto de interruptos en C y assembler.

Los parámetros de calibración, junto con los “setpoints”, se almacenaron en la memoria EEPROM para prevenir cualquier efecto negativo que pudiera causar el que se fuera la energía eléctrica y que la red de sensores iniciara con una configuración inadecuada.

Se deseaba tener una ecuación fina de calibración para los sensores, que permitiera calibrar con alta resolución. Para tal efecto la ecuación (14) posee una constante de 0.001 y una variable A que permiten modificar la sensibilidad de la curva con una resolución de 0.001. Adicionalmente tiene un parámetro B y una constante de -1000 que habilitaba el desplazamiento de la curva sobre el eje de las ordenadas. Se utilizó una constante de -1000 porque simplificó el problema de enviar números negativos a través del ordenador.

La gráfica psicrométrica se empleó para explicar el comportamiento de la humedad y temperatura dentro del invernadero. Esta explicaba por qué a pesar de que la temperatura aumentaba, la humedad relativa bajaba y viceversa. Esto debido a que la proporción de humedad (“humidity ratio”) permanecía con poca variación.

Cuando se empaquetaron los sensores de temperatura se decidió dejar su elemento de sensibilidad al descubierto, debido que existía la posibilidad que su sensibilidad disminuyera, además de que el fabricante tampoco sugería el uso de algún elemento disipador para mejorar las características de medición del sensor. Los sensores de humedad no se taparon, ya que necesitan tener contacto con el aire para poder medir la humedad relativa.

Ambos circuitos de humedad y temperatura se unificaron en un empaquetado único porque se determinó que no se interferían, lo que disminuyó aun más la cantidad de cable utilizado, y además ofrece un diseño más práctico (un único empaquetado para medición de temperatura y humedad relativa).

El arreglo de resistencias que hacían variar el tiempo de subida y bajada del circuito de oscilación estable usado con los sensores de humedad se modeló con una constante K descrita en la ecuación (10). No se midió K debido a las dificultades técnicas cuando los circuitos de los sensores ya estaban en el empaquetado. Además, esta técnica será útil para determinar K en el futuro, pues esta puede variar a través del tiempo.

Para el cableado se escogió usar canaleta por la ventaja que produjo en el diseño para guiar el cable, porque podía cortarse, sujetarse y doblarse sin dificultad. Además de la facilidad con la que el cable podía introducirse en la misma ya que no necesitaba de guías.

Cuando se tuvo completa la lista de características de varios sensores, se pensó en la mejor opción en base a precio, funcionalidad y empaquetado. Optando así por el sensor TC74 para medición de temperatura ambiente, ya que funcionaba con I²C, que permitía organizarlo en una red punto-multipunto con direccionamiento. Al mismo tiempo, sus mediciones eran transmitidas en representación binaria causando que se redujeran errores por interferencia del medio.

También por su empaquetado TO-220, se favoreció su protección de la intemperie sin afectar sus mediciones significativamente. Finalmente, porque podía ser alimentado con 5 voltios, que era correspondiente al voltaje del circuito principal.

También se optó por el sensor HS1101LF para medición de humedad relativa, porque era el más económico de su clase que podía transmitir su señal a distancia por medio de una conversión de su capacitancia variable producto de la humedad, a frecuencia variable.

Se usó el módulo “capture” del micro controlador en lugar de varias etapas de conversión de frecuencia a voltaje porque evitaba problema calibración y cuantización relacionadas con cada etapa. Esto a la vez produjo que el programa dentro del pic18f4550 se ejecutara en menor tiempo.

La función de obtener promedios de las mediciones de humedad fue anular el efecto de ruido aleatorio que ocasionalmente se producía en la red. Sin embargo a veces el promedio no era suficiente para eliminar mediciones fuera de rango, por lo que además se incluyó un filtro para eliminar estos errores. Las implementaciones mencionadas anteriormente, también justifican el hecho que la humedad no podría variar más de 3% en un corto lapso de tiempo.

Debido a que la capacitancia del sensor HS1101LF (que variaba con la humedad relativa) cambiaba significativamente con la longitud del cable, se utilizó un circuito de oscilación astable para su conversión a frecuencia y de esta forma transmitirla al circuito principal.

La red de sensores se alimentó con 12 voltios porque al estar conectada, la caída en las líneas era de casi 2 voltios, lo cual no hubiera funcionado con una alimentación de 5V. Para reducir el voltaje a 5 voltios, se usaron reguladores de voltaje, que reducían el ruido que pudiera introducir en las líneas de alimentación.

Se utilizó el extensor P82B715 dado que el driver I²C del micro controlador no fue capaz de manejar toda la capacitancia del cable de la red que fue aproximadamente de 1031pF cuando el driver permitía una capacitancia máxima de 400pF. También tenía la ventaja de ser alimentado con 5 voltios, el cual era correspondiente al voltaje de alimentación de los sensores y del circuito principal, evitando la necesidad de introducir otra línea de voltaje.

La forma de la tubería se escogió en base a que cubría las ubicaciones de los cultivos dentro del invernadero, y porque era donde pasaban las costaneras que hacían posible su fijación.

Se escogió el cable UTP para el cableado de la red debido a que ambos sensores requerían de varias señales para su correcta funcionalidad, utilizando 5 alambres los sensores de temperatura y 9 los de humedad. Al ser trenzado y usado en la configuración de enviar tierra y una señal en un par, eliminó ruido externo e inducido que pudiera afectar las mediciones.

Se emplearon conectores Rj11 porque establecían un buen contacto con los conectores hembras, a diferencia de los previamente utilizados, los Rj45.

Se utilizó una forma de cableado inusual donde el cable era fragmentado y unido por terminales rj11 en lugar de haber hecho soldaduras porque estas introducían interferencia que habría afectado la información proveniente de los sensores.

Cuando se realizaba el cableado se calculó cierta holgura para establecer las conexiones con los conectores RJ11 macho. De no haberlo hecho, posiblemente el cable no hubiera alcanzado para llegar a su destino final y se hubiera necesitado de más fondos para reparar el problema.

VIII. CONCLUSIONES

- Se necesitó hacer uso de extensores de bus para hacer funcionar la red I²C fuera de condiciones de laboratorio, donde se sobrepasaba el límite de capacitancia debido a la longitud del cableado.
- La transmisión a baja frecuencia (5.7kHz a 7kHz) para las señales de los sensores de humedad resultó ser un método eficaz para distancias de aproximadamente 15 metros.
- Utilizar canaleta en lugar de tubos para introducir cableado resultó más fácil y robusto.
- Se logró implementar un sistema de medición eficaz con exactitudes de 1.6% para sensores de temperatura y del 4% para sensores de humedad.
- El sistema de medición implementado es robusto en cuanto a que ofrece coeficientes de calibración que pueden ser utilizados durante todo su ciclo de vida tal que el sistema siga ofreciendo gran exactitud.
- Otra característica de robustez es que los parámetros de calibración son almacenados en memoria no volátil por lo que el sistema no se ve afectado por cortes de energía eléctrica.
- Se implementó una herramienta de software con monitorización y captura de datos hacia una hoja de Microsoft Excel con período de muestreo seleccionable por el usuario lo cual será de gran utilidad para los usuarios del invernadero.

IX. RECOMENDACIONES

- Se recomienda usar sensores de humedad lineales para simplificar el procesamiento de los datos.
- Se recomienda integrar una base de datos al programa del computador, para poder observar las variaciones de humedad y temperatura en períodos de meses y años.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A.K.Stoner., *Commercial production of greenhouse tomatoes*. Washington: Agricultural Research Service, 1971. págs. 5-15.
- [2] A.Wolf., "I²C (Inter-Integrated Circuit) Bus Technical Overview and Frequently Asked Questions (FAQ)." *ESAcademy*. [En línea] 2000. [Citado el: 08 de 09 de 08.] http://www.esacademy.com/faq/I²C/q_and_a/I²Cqena.htm.
- [3] Allied Electronics., "Line Card." [En línea] 2008. [Citado el: 08 de 09 de 08.] <https://www.alliedelec.com/CustomerService/Forms/Literature.aspx>.
- [4] Aviacionulm., "Temperatura." *Meteorología*. [En línea] [Citado el: 08 de 09 de 08.] <http://www.aviacionulm.com/meteotemperatura.html>.
- [5] C.Castrillón, J.Perlaza., "Automatización de la Caracterización del Microclima para Invernaderos y Cuartos de Crecimiento." *National Instruments*. [En línea] [Citado el: 08 de 09 de 08.] <http://digital.ni.com/worldwide/latam.nsf/web/all/DD203BA99A8BF70186256B5F00816710>.
- [6] C.R.Nave., "HyperPhysics." *Saturated Vapor Pressure, Density for Water*. [En línea] 2006. [Citado el: 18 de 10 de 09.] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/HBASE/Kinetic/watvap.html#c1>.
- [7] COOL BREEZE AIR CONDITIONING., "THE PSYCHROMETRIC CHART." *UNDERSTANDING ITS PROPERTIES AND DEFINITIONS*. [En línea] [Citado el: 19 de 10 de 09.] <http://www.air-dale.co.za/psygen.htm>.
- [8] DigiKey., "PDF Catalog." [En línea] 2008. [Citado el: 08 de 09 de 08.] <http://pdfcatalog.digikey.com/T083/digikey.pdf>.
- [9] F.Nuño., "COMUNICACIÓN SERIE PARA SISTEMAS BASADOS EN MICROCONOTROLADORES PIC." [En línea] 2003. [Citado el: 28 de 04 de 09.] http://www.ate.uniovi.es/fernando/Doc2003/SED/SSP_I²C.pdf.
- [10] Humirel., "Relative Humidity Sensor." [En línea] Septiembre de 2004. [Citado el: 08 de 09 de 08.] <http://www.humirel.com/product/fichier/HS1100LF&HS1101LF-HPC052C.pdf>.

- [11] INSIVUMEH., "Isotermas de temperatura promedio anual." *Atlas Climatológico*. [En línea] 2003. [Citado el: 08 de 09 de 08.] http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/ATLAS_HIDROMETEOROLOGICO/Atlas_Clima.htm.
- [12] —. "Niveles de humedad relativa promedio anual." *Atlas Climatológico*. [En línea] 2003. [Citado el: 08 de 09 de 08.] http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/ATLAS_HIDROMETEOROLOGICO/Atlas_Clima.htm.
- [13] ITWatchDogs., "Combination Temperature, Humidity & Air Flow Sensor." [En línea] [Citado el: 08 de 09 de 08.] [http://www.itwatchdogs.com/DataSheets/RTAFH\(8.5x11\)033006.pdf](http://www.itwatchdogs.com/DataSheets/RTAFH(8.5x11)033006.pdf).
- [14] Intech., "Weather Sensor Transmitters." [En línea] [Citado el: 08 de 09 de 08.] <http://www.intech.co.nz/products/weathersensors/datasheets/weathersensortransmitters.pdf>.
- [15] Jameco Electronics., "Catalog 283." [En línea] Agosto de 2008. [Citado el: 08 de 09 de 08.] <ftp://ftp.jameco.com/Archive/Catalog%20283/283Catalog.pdf>.
- [16] L.Fallace., Biólogo. *Invernaderos de Guatemala*. Guatemala, 10 de Septiembre de 2008.
- [17] Microchip., "I²C Master Mode." [En línea] 2001. [Citado el: 08 de 09 de 08.] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/I²C.pdf>.
- [18] Microchip Technology., "PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet." [En línea] 2007. [Citado el: 28 de 04 de 09.] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39760d.pdf>.
- [19] —. "Tiny Serial Digital Thermal Sensor." [En línea] 2002. [Citado el: 08 de 09 de 08.] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21462c.pdf>.
- [20] Mundi-Prensa., *El cultivo del tomate*. Madrid : s.n., 2001. págs. 80-97.
- [21] NXP Semiconductors., "I²C-bus extender." [En línea] 29 de 05 de 08. [Citado el: 08 de 09 de 08.] http://www.nxp.com/acrobat_download/datasheets/P82B715_7.pdf.
- [22] —. "I²C-bus specification and user manual." [En línea] 19 de 06 de 07. [Citado el: 08 de 09 de 08.] <http://www.standardics.nxp.com/literature/books/I²C/pdf/I²C.bus.specification.pdf>.
- [23] National Semiconductor's., "Temperature Sensor Handbook." [En línea] 2008. [Citado el: 08 de 09 de 08.] <http://www.national.com/appinfo/tempsensors/files/temphb2.pdf>.

- [24] S.Ross., "Planning and Building a Greenhouse." [En línea] [Citado el: 08 de 09 de 08.] <http://www.wvu.edu/~agexten/hortcult/greenhou/building.htm>.
- [25] Senamhi., "El agua en la atmosfera." [En línea] 2006. [Citado el: 08 de 09 de 08.] <http://www.senamhi.gob.pe/pdf/manualmeteo/cap5.pdf>.
- [26] —. "La Temperatura." [En línea] 2006. [Citado el: 08 de 09 de 08.] <http://www.senamhi.gob.pe/pdf/manualmeteo/cap3.pdf>.
- [27] The Engineering Tool Box., "PSYCHROMETRIC CHART." [En línea] 2005. [Citado el: 19 de 10 de 09.] http://www.engineeringtoolbox.com/docs/documents/816/psychrometric_chart_29inHg.pdf.
- [28] Vault Information Services LLC., "Housing The LM335." 8052. [En línea] 3 de 10 de 03. [Citado el: 08 de 09 de 08.] <http://www.8052.com/forum/read.phtml?id=55998>.
- [29] Y.Nieto., Bióloga. *Recomendaciones sobre los invernaderos*. Guatemala, 18 de 09 de 07.

XI. APÉNDICE

A. Familias de sensores de medición de temperatura ambiente

Tabla No. 47 Características de varios sensores de medición de temperatura ambiente [15].

Distribuidor: JAMECO	LM135H	LM335AZ
Rango de temperatura	-55°C a +150°C	-40°C a +100°C
Voltaje de operación	2.95V a 3.01V	2.95V a 3.01V
Salida	+10.0 mV/°K	+10.0 mV/°K
Aplicación	-	-
Tipo	Temperatura	Temperatura
Empaquetamiento	TO-46	TO-92
Precio	\$9.95	\$0.98
Distribuidor: JAMECO	LM34CZ	LM34DZ
Rango de temperatura	-40°F a +230°F	+32°F a +212°F
Voltaje de operación	5V a 30V	5V a 30V
Salida	+10.0 mV/°F	+10.0 mV/°F
Aplicación	Aplicaciones remotas	Aplicaciones remotas
Tipo	Temperatura	Temperatura
Empaquetamiento	TO-92	TO-92
Precio	\$5.45	\$2.09
Distribuidor: JAMECO	LM35CAZ	LM35CZ
Rango de temperatura	-40°C a +110°C	-40°C a +110°C
Voltaje de operación	4V a 30V	4V a 30V
Salida	+10.0 mV/°C	+10.0 mV/°C
Aplicación	Aplicaciones remotas	Aplicaciones remotas
Tipo	Temperatura	Temperatura

Continuación Tabla 47.

Empaquetamiento	TO-92	TO-92
Precio	\$5.19	\$4.39
Distribuidor: JAMECO	LM35DZ	LM35DT
Rango de temperatura	0°C a +100°C	-55°C a +150°C
Voltaje de operación	4V a 30V	4V a 30V
Salida	+10.0 mV/°C	+10.0 mV/°C
Aplicación	Aplicaciones remotas	Aplicaciones remotas
Tipo	Temperatura	Temperatura
Empaquetamiento	TO-92	TO-220
Precio	\$0.91	\$2.35

Tabla No. 48 Características de varios sensores de medición de temperatura ambiente [15] [8].

Distribuidor: JAMECO	LM61CIZ	TMP36GT9
Rango de temperatura	-30°C a +100°C	-40°C a +125°C
Voltaje de operación	2.7V a 10V	2.7V a 5.5V
Salida	+10.0 mV/°C	+10.0 mV/°C
Aplicación	HVAC	Sist control ambiental
Tipo	Temperatura	Temperatura
Empaquetamiento	TO-92	TO-92
Precio	\$4.35	\$1.19
Distribuidor: JAMECO	LM335Z	
Rango de temperatura	-40°C a +100°C	
Voltaje de operación	2.92V a 3.04V	
Salida	+10.0 mV/°K	
Aplicación	-	
Tipo	Temperatura	

Continuación Tabla 48.

Empaquetamiento	TO-92	
Precio	\$0.67	
Distribuidor: DIGITKEY	TMP101	TMP175
Rango de temperatura	-55°C a +125°C	-40°C a +125°C
Voltaje de operación	2.7V a 5.5V	2.7V a 5.5V
Salida	Corriente vrs temp	Corriente vrs temp
Aplicación	HVAC	HVAC
Tipo	Temperatura	Temperatura
Empaquetamiento	SOT23-6	SO-8
Precio	\$1.26	\$2.13
Distribuidor: DIGITKEY	TMP411	LM335Z
Rango de temperatura	-40°C a +125°C	-40°C a +100°C
Voltaje de operación	3V a 5V	2.92V a 3.04V
Salida	-	+10.0 mV/°K
Aplicación	-	-
Tipo	Temperatura	Temperatura
Empaquetamiento	MSOP-8	TO-92
Precio	\$3.94	\$1.20



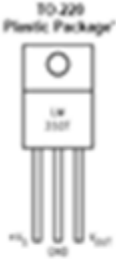


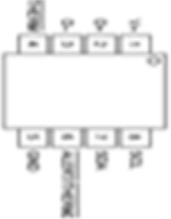


Tabla No. 49 Características de varios sensores de medición de temperatura ambiente [8].

Distribuidor: DIGITKEY	LM335DT	LM335D
Rango de temperatura	-40°C a +100°C	-40°C a +100°C
Voltaje de operación	2.92V a 3.04V	2.92V a 3.04V
Salida	+10.0 mV/°K	+10.0 mV/°K
Aplicación	-	-

Continuación Tabla 49.

Tipo	Temperatura	Temperatura
Empaquetamiento	SO-8	SO-8
Precio	\$1.34	\$1.46
Distribuidor: DIGITKEY	LM335AZ	LM335ADT
Rango de temperatura	-40°C a +100°C	-40°C a +100°C
Voltaje de operación	2.92V a 3.04V	2.92V a 3.04V
Salida	+10.0 mV/°K	+10.0 mV/°K
Aplicación	-	-
Tipo	Temperatura	Temperatura
Empaquetamiento	TO-92	SO-8
Precio	\$1.54	\$1.61
Distribuidor: DIGITKEY	TMP75	TC74
Rango de temperatura	-40°C a +125°C	-40°C a +125°C
Voltaje de operación	2.7V a 5.5V	2.7V a 5.5V
Salida	Corriente vrs temp	I ² C™/SMBus™
Aplicación	HVAC	Control de temperatura en laptops
Tipo	Temperatura	Temperatura
Empaquetamiento	SO-8	5TO-220/5SOT-23
Precio	\$1.75	\$1.05

Figura No. 72 Empaquetados de los sensores de medición de temperatura ambiente, mencionados anteriormente [15] [19].

 <p>TO-220</p>	 <p>Surface Mount Package</p> <p>SO-8</p>	 <p>TO-220 Plastic Package</p> <p>TO-220</p>	 <p>Metal Can Package</p> <p>TO-46</p>
 <p>SOT-23</p>	 <p>MSOP-8</p>	 <p>SOT23-6</p>	 <p>Plastic Package</p> <p>TO-92</p>

B. Familias de sensores de medición de humedad relativa

Tabla No. 50 Características de varios sensores de medición de humedad relativa [8].

Distribuidor: DIGITKEY	CHS-GSS	CHS-MSS
Rango de Humedad	De 5(%) a 90(%)RH	De 20(%) a 85(%)RH
Voltaje de operación	5 VDC	5 VDC
Tiempo de respuesta	1 Min	1 Min
Salida	10(mV)/(%)RH	10(mV)/(%)RH
Temp de operación	5 a +45°C	15 a +35°C

Continuación Tabla 50.

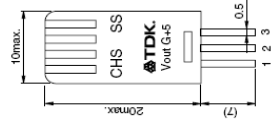
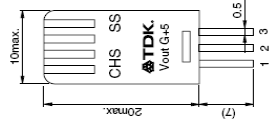
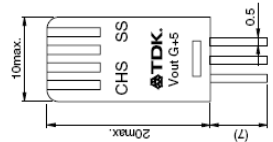
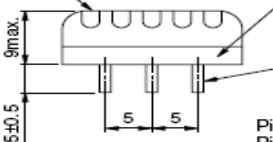
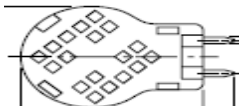
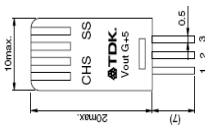
Precisión	±5% RH	±5% RH
Tipo	Humedad	Humedad
Empaquetamiento		
Precio	\$34.01	\$23.81
Distribuidor: DIGITKEY	CHS-UPS	CHS-UPR
Rango de Humedad	De 5(%) a 95(%)RH	De 5(%) a 95(%)RH
Voltaje de operación	5 VDC	5 VDC
Tiempo de respuesta	1 Min	1 Min
Salida	10(mV)/(%)RH	10(mV)/(%)RH
Temp de operación	5 a +45°C	5 a +45°C
Precisión	±3% RH	±3% RH
Tipo	Humedad	Humedad
Empaquetamiento		
Precio	\$74.40	\$74.40

Tabla No. 51 Características de varios sensores de medición de humedad relativa [8].

Distribuidor: DIGITKEY	BC2325-ND	CHS-UGS
Rango de Humedad	De 10(%) a 90(%)RH	De 5(%) a 95(%)RH
Voltaje de operación	15 V, AC o DC	5 VDC
Tiempo de respuesta	Entre 10 y 43 % RH < 3Min; entre 43 y 90 % RH < 5Min	1 Min
Salida	pF/%RH	10(mV)/(%)RH
Temp de operación	0 a +85°C	5 a +45°C
Precisión	-	±5% RH
Tipo	Humedad	Humedad
Empaquetamiento		
Precio	\$15.17	\$51.01
Distribuidor: DIGITKEY	HS1101	HS1101LF
Rango de Humedad	De 1(%) a 99(%)RH	De 1(%) a 99(%)RH
Voltaje de operación	5 V	10 VAC
Tiempo de respuesta	33 a 76 % RH, 5 Sec	33 to 80 % RH, de 3 a 5 Sec

Continuación Tabla 51.



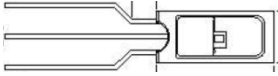

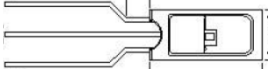
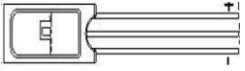
Salida	pF/%RH	pF/%RH
Temp de operación	-40 a +100°C	-60 a +140°C
Precisión	±2% @ 10 a 90% RH @25°C	-
Tipo	Humedad	Humedad
Empaquetamiento		
Precio	\$9.75	\$9.75

Tabla No. 52 Característica de varios sensores de medición de humedad relativa [8] [3].

Distribuidor: DIGITKEY	HTS2030SMD	HIH-4000-003
Rango de Humedad	De 1(%) a 99(%)RH	De 0(%) a 100(%)RH
Voltaje de operación	10 VAC	4 a 5.8VDC
Tiempo de respuesta	33 to 80 % RH, de 3 a 5 Sec	15 Sec
Salida	pF/%RH	Voltaje vrs % RH
Temp de operación	-60 a +140°C	-40 a +85°C
Precisión	-	±3.5% RH
Tipo	Humedad/Temperatura	Humedad
Empaquetamiento		

Continuación Tabla 52.

Precio	\$14.82	\$20.57
Distribuidor: Allied Electronics	HIH-4000-001	HIH-4000-002
Rango de Humedad	De 0(%) a 100(%)RH	De 0(%) a 100(%)RH
Voltaje de operación	4 a 5.8VDC	4 a 5.8VDC
Tiempo de respuesta	15 Sec	15 Sec
Salida	Voltaje vrs % RH	Voltaje vrs % RH
Temp de operación	-40 a +85°C	-40 a +85°C
Precisión	±3.5% RH	±3.5% RH
Tipo	Humedad	Humedad
Empaquetamiento		
Precio	\$26.86	\$26.87

C. Código del micro controlador hecho en PIC CCS

```

#include "C:\Documents and Settings\Recinos //humedad
Soto\Escritorio\HH\RedSensores.h" int DATOS_HUME[40];
#locate DATOS_HUME=0x60

//*****
***** //Arreglo utilizado para almacenar todos los bytes que ingresen
// //por USART al micro controlador debidos al ordenador
//DECLARACION DE VARIABLES int DATOS_USART[35];
// #locate DATOS_USART=0x88
//*****
***** //Se utiliza en el proceso de contar los 35 datos que son
ingresados
//Arreglo utilizado para almacenar 20 muestras con una //por el ordenador a traves del módulo USART
resolucion int CONT_USART2;
//de 16 bits (CCPR1H_TEMP y CCPR1L_TEMP) de los sensores de #locate CONT_USART2=0xAB

```

```

//Se utiliza como variable temporal para el registro W
int W_TEMP;
#locate W_TEMP=0xAC

//Se utiliza como variable temporal para el registro BSR
int BSR_TEMP;
#locate BSR_TEMP=0xAD

//Se utiliza como variable temporal para el registro PCLATH
int PCLATH_TEMP;
#locate PCLATH_TEMP=0xAE

//Variable usada como indicador, para avisar cuando
//esta listo el modulo CCP para tomar mediciones, y
//cuando debe reiniciarse
int BANDERA;
#locate BANDERA=0xAF

//Se utiliza en el proceso de dar un retardo de tiempo
//un DELAY
int CONT_DEL;
#locate CONT_DEL=0xB0

//Se utiliza como variable temporal para el registro CCPR1H
int CCPR1H_TEMP;
#locate CCPR1H_TEMP=0xB1

//Se utiliza como variable temporal para el registro CCPR1L
int CCPR1L_TEMP;
#locate CCPR1L_TEMP=0xB2

//Se utiliza en el proceso contar 20 muestras de humedad, para
//propósitos de almacenar las mismas
int CONT_MUESTRAH;
#locate CONT_MUESTRAH=0xB3

//Se utiliza como variable temporal para el registro STATUS
int STATUS_TEMP;
#locate STATUS_TEMP=0xB4

//Se utiliza en el proceso contar 20 muestras de humedad, para
//propositos de obtener promedios
int CONT_H2;

#locate CONT_H2=0xB5

//Se utiliza en el proceso de seleccion de canal de los sensores
//de humedad, de tal forma que se puedan tomar mediciones
segun
//el sensor escogido
int INDICADOR;
#locate INDICADOR=0xB6

//Se utiliza en el proceso de dar un retardo de tiempo
//un DELAY
int CONT_DEL2;
#locate CONT_DEL2=0xB7

//Se utiliza en el proceso de enviar los datos de la
//red de sensores por usart, desde el micro controlador
//hacia el ordenador
int CONT_USART1;
#locate CONT_USART1=0xB8

//Se utiliza como contador para datos relacionados con
//la memoria EEPROM, de tal forma que cierta cantidad de
//datos puedan ser almacenados o leídos
int CONT_CALIB;
#locate CONT_CALIB=0xB9

//Se utiliza para indicar la posicion de la EEPROM
//de donde se deben leer los parámetros de calibración
//A y B de tal manera que se ajuste la curva de cada
//sensor adecuadamente
int INDICA_EEPRO;
#locate INDICA_EEPRO=0xBA

//Se utiliza para almacenar los 16 bits de resolucio
//de los parámetros A y B, necesarios para calibrar un
//sensor en específico. Únicamente le cabe el parámetro
//A y el B de un sensor en especial.
int DATOS_EEPRO[4];
#locate DATOS_EEPRO=0xBB

//Se utiliza para almacenar la instrucción a realizar por
//el módulo de actuadores, ya sea control de humedad
//o de temperatura
int AcutInstru;

```

```

#locate AcutInstru=0xBF

//Se utiliza para almacenar el setpoint que servirá para
//mantener controlada la humedad y temperatura
int AcutSetP;
#locate AcutSetP=0xC0

//Arreglo utilizado para almacenar 20 muestras de los sensores de
//temperatura, que posteriormente se utilizaran para obtener un
//promedio
signed int8 DATOS_TEMP[20];

//Arreglo utilizado para almacenar las mediciones generadas por
la
//red de sensores (4 sensores de humedad = 8 bytes, 4 sensores
de
//temperatura = 4 bytes, el promedio de la humedad = 2 bytes, el
//promedio de la temperatura = 1 byte) para posteriormente
enviarlas
//por USART
int8 SEND_PORT[15];

//Se utiliza en la funcion TemperaturaReambient, para
//almacenar temporalmente la medicion de temperatura
//despues de haber sido leída por el sensor a traves
//de una comunicación i2c
signed int8 TemperaturaBack=0;

//Variable utilizada para almacenar temporalmente el
//promedio de 20 mediciones de un sensor de temperatura
//particular. Tambien almacena temporalmente el promedio
//general de los 4 sensores de temperatura. Los valores
//de temperatura van de 5 a 50 grados celcius
signed int8 TemperaturaReal = 0;

//Contador utilizado para el proceso de sacar el promedio
//individual de cada sensor y el general
int8 CONT_MUESTRAT=0;

//Variable donde se almacena y calcula el promedio
//de sensores de humedad y temperatura en formato
//de punto flotante
float32 Prom1 = 0.0;

//Se utiliza en el proceso de la obtencion de promedios para
//los sensores de humedad, para evitar que se trunquen
//decimales representativos.
float32 compa=0.0;

//Se utilizan en el proceso de computar la ecuación
// $y=(Ax/1000) + (B-1000)$ , la cual sirve para la calibracion
//de los sensores de humedad y temperatura
float32 z1,z2,z3,z5=0.0;

//Se utiliza para almacenar la humedad individual de cada sensor
//en un formato de 16 bits
int16 AcumuHumedad=0;

//Se utiliza en la obtencion del byte bajo de humedad, a partir
//de una resolución de 16 bits
int16 resta=0;

//Se utiliza en el proceso de la calibración de los sensores
//de humedad y temperatura, para evitar que se trunquen
//decimales representativos. Además se utiliza para verificar
//que posterior a la calibracion, el nuevo valor quede contenido
//en una variable de 16 bits para sensores de humedad y de 8 bits
//para sensores de temperatura
int32 z4=0;

//Se utilizan en el proceso de almacenar la sumatoria de
//los 20 valores de humedad de un mismo sensor, requerido
//para obtener un promedio de sus mediciones. Y tambien para
//almacenar las suma de las 4 mediciones de cada sensor
//para ayudar en el proceso de la obtención del promedio
//general
int16 SumHumeH,SumHumeL=0;

//Se almacena el parámetro A, el cual servirá para ajustar
//las curvas de los sensores, con una resolución de 16
//bits
int16 Param_A=0;

//Se almacena el parámetro B, el cual servirá para ajustar
//las curvas de los sensores, con una resolución de 16
//bits
int16 Param_B=0;

```

```

//Variables donde se almacenan los promedios las mediciones
//de humedad con valores que van de 0 a 100% de Humedad
//relativa
int8 HumeH,HumeL=0;

//Se utiliza en el proceso de obtener el High byte y el
//low byte de humedad (en variables de 8 bits).
int8 Division=0;

//Se utilizan en el proceso de almacenar la sumatoria de
//los 20 valores de temperatura de un mismo sensor, requerido
//para obtener un promedio de sus mediciones. Y tambien para
//almacenar las suma de las 4 mediciones de cada sensor
//para ayudar en el proceso de la obtención del promedio
//general
signed int16 SumTemp=0;

//Variables que se utilizan para establecer un retardo de
//1 segundo (un delay).
int8 contx1,contx2,contx3=0;

//Variables que se utilizan para almacenar los valores de
humedad
//y temperatura promedio temporalmente, para que puedan
quedar
//dentro de un rango de 5 a 250 (requisitos del módulo de
actuadores)
//para posteriormente enviarse al módulo de actuadores.
int8 humedad,temperatura=0;

//Variable que almacena la constante K de cada sensor,la cual
representa
//a las resistencias y el factor que ayuda a determinar el tiempo
que la
//señal esta en alto y cuando esta en bajo
float32 K=0.0;

//Almacena el valor de frecuencia de un sensor en particular de
forma
//dinamica
float32 frec=0.0;

//Constante que ayuda en el proceso de obtener la frecuencia
float32 uno=1.0;

//Almacena el valor de capacitancia que va cambiando
dinamicamente
//debido a la frecuencia
float32 capacitancia=0.0;

//Almacena un valor modificado de la capacitancia original, la cual
//se usara en la ecuacion polinomial
float32 capx=0.0;

//Se utilizan en el proceso de la obtencion de la humedad relativa
//de 0 a 100%
float32 A,B,HR=0.0;

//Almacena un valor de humedad relativa de 0 a 100%
int8 HR8bit=0;

signed int16 Verify_HR8bit=0;

//*****
//*****
//
//DECLARACION DE REGISTROS
//
//*****
//*****
#byte STATUS = 0xFD8
#byte BSR = 0xFE0
#byte PCLATH = 0xFFA
#byte INTCON = 0xFF2
#byte INTCON2 = 0xFF1
#byte INTCON3 = 0xFF0
#byte PORTA = 0xF80
#byte TRISA = 0xF92
#byte PORTB = 0xF81
#byte TRISB = 0xF93
#byte PORTC = 0xF82
#byte TRISC = 0xF94
#byte PORTD = 0xF83
#byte TRISD = 0xF95
#byte RCON = 0xFD0
#byte CCP1CON = 0xFBD
#byte T1CON = 0xFCD
#byte PIE1 = 0xF9D

```

```

#byte T3CON = 0xFB1
#byte CCPR1H = 0xFBF
#byte CCPR1L = 0xFBE
#byte TMR1H = 0xFCF
#byte TMR1L = 0xFCE
#byte PIR1 = 0xF9E
#byte POSTINC0 = 0xFEE
#byte POSTINC1 = 0xFE6
#byte RCSTA = 0xFAB
#byte RCREG = 0xFAE
#byte TXREG = 0xFAD
#byte TXSTA = 0xFAC
#byte SPBRG = 0xFAF
#byte SPBRGH = 0xFB0
#byte EEADR = 0xFA9
#byte EEDATA = 0xFA8
#byte EECON2 = 0xFA7
#byte EECON1 = 0xFA6
#byte PIR2 = 0xFA1

//COMMON
#bit GIE = INTCON.7 //HABILITAR/DESABILITAR
INTERRUPCIONES
#bit IPEN = RCON.7 //Interrupt Priority Enable bit

//PORT CHANGE
#bit RBPU = INTCON.7 //PORTB Pull-up Enable bit
#bit RBIF = INTCON.0 //RB Port Change Interrupt Flag bit
#bit RBIE = INTCON.3 //RB Port Change Interrupt Enable bit

//EXTERNAL INT
#bit INTEDG2 = INTCON.4 //External Interrupt 2 Edge Select bit
#bit INT2IE = INTCON.3.4 //INT2 External Interrupt Enable bit
#bit INT2IF = INTCON.3.1 //INT2 External Interrupt Flag bit

//CAPTURE COMPARE
#bit CCP1M3 = CCP1CON.3 //CCPx Module Mode Select bits
#bit CCP1M2 = CCP1CON.2 //CCPx Module Mode Select bits
#bit CCP1M1 = CCP1CON.1 //CCPx Module Mode Select bits
#bit CCP1M0 = CCP1CON.0 //CCPx Module Mode Select bits
#bit T1CKPS1 = T1CON.5 //Timer1 Input Clock Prescale Select
bits

#bit T1CKPS0 = T1CON.4 //Timer1 Input Clock Prescale Select
bits
#bit RD16 = T1CON.7 //Timer1 16-Bit Read/Write Mode
Enable bit
#bit T1RUN = T1CON.6 //Timer1 System Clock Status bit
#bit T1OSCEN = T1CON.3 //Timer1 Oscillator Enable bit
#bit TMR1CS = T1CON.1
#bit TMR1ON = T1CON.0
#bit CCP1IE = PIE1.2 //CCP1 Interrupt Enable bit
#bit T3CCP2 = T3CON.6 //Timer3 and Timer1 to CCPx Enable
bits
#bit T3CCP1 = T3CON.3 //Timer3 and Timer1 to CCPx Enable
bits
#bit CCP1IF = PIR1.2 //CCP1 Interrupt Flag bit
#bit PEIE = INTCON.6 //Peripheral Interrupt Enable bit

//Recepcion EUSART
#bit RCIE = PIE1.5 //EUSART Receive Interrupt Enable bit
#bit CREN = RCSTA.4 //Continuous Receive Enable bit
#bit RCIF = PIR1.5 //EUSART Receive Interrupt Flag bit
#bit SPEN = RCSTA.7 //Serial Port Enable bit
#bit SYNC = TXSTA.4 //EUSART Mode Select bit
#bit BRGH = TXSTA.2 //High Baud Rate Select bit

//EEPROM
#bit CFGS = EECON1.6 //Flash Program/Data EEPROM or
ConFiguRation Select bit
#bit EEPGD = EECON1.7 //Flash Program or Data EEPROM
Memory Select bit
#bit WREN = EECON1.2 //Flash Program/Data EEPROM Write
Enable bit
#bit WR = EECON1.1 //Write Control bit
#bit RD = EECON1.0 //Read Control bit
#bit EEIF = PIR2.4 //Data EEPROM/Flash Write Operation
Interrupt Flag bit

//*****
*****
//
//DECLARACION DE FUNCIONES Y MÉTODOS
//

```

```

//*****
*****

//En este método se trabajan todas las rutinas de interrupción del
//micro controlador
void isr();

//En este método queda definido el módulo principal, el cual
establece
//el orden de cada proceso necesario para tener un control total
de
//sobre la red de sensores, y la comunicación con el módulo de
//actuadores y el ordenador.
void main();

//Funcion que se encarga de tomar las mediciones de cada
//sensores de temperatura, por medio de una comunicación
//i2c
signed int8 TemperaturaRealmbien(int8 numero_sensor);

//Método que se encarga de tomar el promedio de las
//las mediciones de humedad y luego dejarlar ajustadas
//de acuerdo a los parámetros de calibración
void PromHumedad(int8 num_arreglo);

//Método que se encarga de obtener los parámetros de
calibracion
//A y B, y asignarlos al arreglo DATOS_EEPRO
void ObtencionParamAB();

//Método que se encarga de tomar el promedio de las
//las mediciones de temperatura y luego dejarlar ajustadas
//de acuerdo a los parámetros de calibración
void PromTemperatura(int8 numero_sensor, int8 num_arreglo);

//Método que se encarga de enviar las mediciones obtenidas de
la red de
//sensores además de parámetros de calibracion y el setpoint de
humedad y
//temperatura hacia el ordenador.
void Send_Usart();

//Método que se encarga de obtener el promedio general para las

```

```

//mediciones de humedad y temperatura. Las cuales serán de
utilidad
//para el módulo de actuadores ya que este tomará decisiones en
base
//a las mismas.
void Promedio_Global();

//Método que se encarga de establecer una comunicacion i2c con
el
//modulo de actuadores para comunicarle el setpoint de
humedad o
//temperatura, además de la humedad y temperatura promedio.
void ModActuadores();

//*****
*****

//
//RUTINA DE INTERRUPCIONES
//
//*****
*****

#INT_GLOBAL
void isr()
{
    #asm
    //Se almacena el estado actual del pic
    MOVWF W_TEMP
    MOVFF STATUS, STATUS_TEMP
    MOVFF BSR, BSR_TEMP
    MOVF PCLATH,W
    MOVWF PCLATH_TEMP
    //*****
    //*****
    //Verificación de que interrupto se
    //activo
    //*****
    //*****
    //Para Contador de frecuencia
    BTFSC CCP1IF
    BRA CONTADOR_FRECUENCIA
    //Para Recepcion por EUSART
    BTFSC RCIF
    BRA RECEIVE

```

```

//Para salir de la rutina de
//interrupciones
BRA SALIDA_1

//*****
//*****
//CONTADOR DE FRECUENCIA
//Este método se encarga de determinar
//la frecuencia producida por los sensores,
//de por medio de un conteo de pulsos.
//Consiste de dos partes, la
//primera inicia el conteo, y la segunda
//almacena el valor del conteo.
//*****
//*****
CONTADOR_FRECUENCIA:
MOVLW 0x01
CPFSEQ BANDERA

//ESTE SALTO INICIA EL PROCESO PARA
//CUANTIFICAR LA CANTIDAD DE INSTRUCCIONES
//EJECUTADAS A UNA VELOCIDAD DE 2MHz ANTES DE
//TRASCURRIR CUATRO FLANCOS DE SUBIDA DE LA
//SEÑAL QUE SE LE ESTA INGRESANDO.
//POR LO QUE A MAYOR FRECUENCIA HABRA UNA MENOR
//CANTIDAD DE INSTRUCCIONES EJECUTADAS, Y LO OPUESTO
//PARA FRECUENCIAS MENORES
BRA INICIAR_CONTEO

//ESTA PARTE IMPLICA QUE SE HA
//DETECTADO LOS CUATRO FLANCOS
BCF TMR1ON //SE APAGA EL TIMER

//SE ALMACENAN LOS VALORES OBTENIDOS
//EN REGISTROS TEMPORALES
MOVF CCPR1H,W
MOVWF CCPR1H_TEMP
MOVF CCPR1L,W
MOVWF CCPR1L_TEMP

//ESTA PARTE SE ENCARGA QUE NO SE
//TOMEN MAS DE 20 MUESTRAS, YA QUE
//ES LA CAPCIDAD MÁXIMA DEL ARRAY
//QUE SE ESTA UTILIZANDO PARA
//ALMACENAR LAS MISMAS
MOVLW 0x00
CPFSEQ CONT_MUESTRAH

//SE SIGUE ALMACENANDO MEDICIONES
BRA ALMACENAMIENTO

//ESTA FUNCION SE ENCARGA DE LA
//LIMPIEZA DE MODULO CCP1
BRA LIMPIEZA2

//SE VAN ALMACENANDO TODAS LAS
//MEDICIONES EN EL ARRAY DATOS_HUME
ALMACENAMIENTO: //ALMACENAMIENTO
MOVF CCPR1H_TEMP,W
MOVWF POSTINCO
MOVF CCPR1L_TEMP,W
MOVWF POSTINCO

DECF CONT_MUESTRAH

LIMPIEZA2: //LIMPIEZA2
CLRF TMR1H
CLRF TMR1L
CLRF CCPR1H
CLRF CCPR1L
BCF CCP1IF
CLRF BANDERA

BRA SALIDA_1

INICIAR_CONTEO: //INICIAR_CONTEO
BSF TMR1ON //Enables Timer1
BRA LIMPIEZA1

LIMPIEZA1: //LIMPIEZA1
BCF CCP1IF
MOVLW 0x01
MOVWF BANDERA
BRA SALIDA_1

```

```

//*****
//*****
//RECEPCION POR EUSART
//Este método se encarga de almacenar
//todos los bytes recibidos por el
//ordenador
//*****
//*****
RECEIVE:
//ESTA PARTE SE ENCARGA QUE NO SE
//RECIBAN MAS DE 35 BYTES DEL ORDNEDOR
//SIN ANTES HABERLOS PROCESADO
MOVLW 0x23
CPFSEQ CONT_USART2
BRA HALA1
BRA DESECHA_DATOS

//SE VAN ALMACENANDO LOS DATOS
//ENVIADOS POR EL ORENADOR EN
//EL ARRAY DATOS_USART
HALA1:
MOVF RCREG,W
MOVWF POSTINC1
INCF CONT_USART2,1
BCF RCIF
BRA SALIDA_1

//SE DESECHAN TODOS
//LOS DATOS RECIBIDOS
//POR USART
DESECHA_DATOS:
MOVF RCREG,W
BCF RCIF
BRA SALIDA_1

//*****
//*****
//SALIDA_1
//*****
//*****

```

```

SALIDA_1:
//Se restaura el estado del pic y sale del interrupto
MOVF PCLATH_TEMP,W
MOVWF PCLATH
MOVFF BSR_TEMP, BSR
MOVF W_TEMP, W
MOVFF STATUS_TEMP, STATUS
#endasm
}

//*****
*****
//
//Módulo Principal
//
//*****
*****

void main()
{
    setup_adc_ports(NO_ANALOGS|VSS_VDD);
    setup_adc(ADC_OFF);
    setup_psp(PSP_DISABLED);
    setup_wdt(WDT_OFF);
    setup_timer_0(RTCC_INTERNAL);
    setup_timer_1(T1_DISABLED);
    setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);
    setup_timer_3(T3_DISABLED|T3_DIV_BY_1);
    setup_comparator(NC_NC_NC_NC);
    setup_vref(FALSE);

#asm
//RETARDO QUE SE DA PARA AUMENTAR EL TIEMPO
//DE ESPERA, ANTES DE INICIAR EL PROGRAMA
//CONTRIBUYENDO A QUE SE ESTABILIZEN LAS
//SEÑALES
CALL RETARDO_1SEG

//COMMON
BCF GIE //Se Desabilitan los interruptos
BCF IPEN //Desabilita las prioridades

//PORT CHANGE

```

```

BCF RBIE //Se deshabilita el interrupto del puerto B
BCF RBIF
//LOS PINES SERAN ENTRADAS DIGITALES.
BSF TRISB,7
BSF TRISB,6
BSF TRISB,5
BSF TRISB,4
BSF RBPU //All PORTB pull-ups are disabled

//EXTERNAL INT2
BCF INT2IE // Disables the INT2 external interrupt
BSF INTEDG2 // Interrupt on rising edge
BSF TRISB,2 //El pin se pone como entrada

//CAPTURE COMPARE
BSF TRISC,2 //El pin se pone como entrada

BCF T1RUN //Device clock is derived from another source
BCF T1OSCEN //Timer1 oscillator is shut off
BCF TMR1CS //Internal clock (FOSC/4)--frecuencia a la que
//se ejecutan las instrucciones dentro del
//micro controlador
BCF T1CKPS1 //PRESCALE VALUE 1:1
BCF T1CKPS0 //PRESCALE VALUE 1:1
BSF RD16 //Enables register read/write of Timer1 in one 16-
bit operation
//Timer 1 must be turned on to have a
//continuous clock source
//CON RESPECTO AL TIMER1: Module Reset on CCP
Special Event Trigger
//If either of the CCP modules is configured in Compare
//mode to generate a Special Event Trigger
//(CCP1M3:CCP1M0 or CCP2M3:CCP2M0 = 1011),
//this signal will reset Timer1.

BCF CCP1IE //Disables the CCP1 interrupt
BCF T3CCP2 //Timer1 is the capture/compare clock source for
CCP1
BSF T3CCP1 //Timer1 is the capture/compare clock source for
CCP1

//EUSART
BSF RCIE //Enables the EUSART receive interrupt

BSF CREN //Enables receiver
BCF RCIF //Clears the interrupt flag
BSF TRISC,6 //Port C conFiguration
BSF TRISC,7

//EEPROM

//EN ESTOS PINES ESTARAN LAS SALIDA_1S DIGITALES
MOVLW 0x00
MOVWF TRISD
MOVWF TRISA

//LIMPIEZA DE VARIABLES Y PUERTOS
CLRF PORTB
CLRF PORTA
CLRF PORTD
CLRF BANDERA
CLRF TMR1H
CLRF TMR1L
CLRF CCP1H
CLRF CCP1L
CLRF CCP1H_TEMP
CLRF CCP1L_TEMP

//Se utiliza esta funcion para recalibrar
//los sensores una vez que se haya apagado
//el micro controlador

MOVLW 0x14
MOVWF CONT_MUESTRAH
LFSR 0,0x60 //SE LE ASIGNA AL PUNTERO UNA POSICION EN
LFSR 1,0x88 //MEMORIA

//BSF TMR1ON //Enables Timer1
BCF CCP1IF //Se limpia la bandera
BSF CCP1IE //Se habilita el interrupto del ccp1
BSF GIE //Se habilita el interrupto
BSF PEIE //Enables all unmasked peripheral interrupts
#endasm

//AQUI INICIA LA RUTINA PRINCIPAL
#asm
Repetir3:
#endasm

```

```

//-----
//----LECTURA DE SENSORES DE HUMEDAD
//-----

//*****
//Sensor de humedad 1
//*****

#asm
//SE SELECCIONA EL SENSOR A LEER
MOVLW 0x01
MOVWF INDICADOR
CALL SELECC_CANAL

//SE SELECCIONA EL PARAMETRO DE CALIBRACION
//PARA AJUSTAR LA CURVA DEL SENSOR
MOVLW 0x1F
MOVWF INDICA_EEPRO
#endasm
//SE OBTIENE UN PROMEDIO DE LAS MEDICIONES
PromHumedad(0);

//*****
//Sensor de humedad 2
//*****

#asm
//SE SELECCIONA EL SENSOR A LEER
MOVLW 0x02
MOVWF INDICADOR
CALL SELECC_CANAL
//SE SELECCIONA EL PARAMETRO DE CALIBRACION
//PARA AJUSTAR LA CURVA DEL SENSOR
MOVLW 0x1B
MOVWF INDICA_EEPRO
#endasm
//SE OBTIENE UN PROMEDIO DE LAS MEDICIONES
PromHumedad(2);

//*****
//Sensor de humedad 3
//*****

#asm
//SE SELECCIONA EL SENSOR A LEER
MOVLW 0x03
MOVWF INDICADOR
CALL SELECC_CANAL
//SE SELECCIONA EL PARAMETRO DE CALIBRACION
//PARA AJUSTAR LA CURVA DEL SENSOR
MOVLW 0x17
MOVWF INDICA_EEPRO
#endasm
//SE OBTIENE UN PROMEDIO DE LAS MEDICIONES
PromHumedad(4);

//*****
//Sensor de humedad 4
//*****

#asm
//SE SELECCIONA EL SENSOR A LEER
MOVLW 0x04
MOVWF INDICADOR
CALL SELECC_CANAL
//SE SELECCIONA EL PARAMETRO DE CALIBRACION
//PARA AJUSTAR LA CURVA DEL SENSOR
MOVLW 0x13
MOVWF INDICA_EEPRO
#endasm
//SE OBTIENE UN PROMEDIO DE LAS MEDICIONES
PromHumedad(6);

//-----
//----LECTURA DE SENSORES DE TEMPERATURA
//-----

//*****
//Sensores de temperatura 1
//*****

#asm
//SE SELECCIONA EL PARAMETRO DE CALIBRACION
//PARA AJUSTAR LA CURVA DEL SENSOR
MOVLW 0x03
MOVWF INDICA_EEPRO
#endasm

```

```

//SE OBTIENE UN PROMEDIO DE LAS MEDICIONES
PromTemperatura(144,8);

//*****
//Sensores de temperatura 2
//*****
#asm
//SE SELECCIONA EL PARAMETRO DE CALIBRACION
//PARA AJUSTAR LA CURVA DEL SENSOR
MOVLW 0x07
MOVWF INDICA_EEPRO
#endasm
//SE OBTIENE UN PROMEDIO DE LAS MEDICIONES
PromTemperatura(146,9);

//*****
//Sensores de temperatura 3
//*****
#asm
//SE SELECCIONA EL PARAMETRO DE CALIBRACION
//PARA AJUSTAR LA CURVA DEL SENSOR
MOVLW 0x0B
MOVWF INDICA_EEPRO
#endasm
//SE OBTIENE UN PROMEDIO DE LAS MEDICIONES
PromTemperatura(148,10);

//*****
//Sensores de temperatura 4
//*****
#asm
//SE SELECCIONA EL PARAMETRO DE CALIBRACION
//PARA AJUSTAR LA CURVA DEL SENSOR
MOVLW 0x0F
MOVWF INDICA_EEPRO
#endasm
//SE OBTIENE UN PROMEDIO DE LAS MEDICIONES
PromTemperatura(150,11);

//-----
//----ANALISIS DE LA TRAMA RECIBIDA POR USART
//-----

If (CONT_USART2 == 35)
{
//Indicador utilizado para propositos de
//debuggin
#asm
BSF PORTD,2
#endasm

//Implica que se estan recibiendo los parametros de
calibracion
//que serviran para ajustar las curvas de los sensores
If(DATOS_USART[0]==15 && DATOS_USART[1]==60 &&
DATOS_USART[2]==240)
{
//*****
//Se escribe en la EEPROM
//*****
#asm
CLRf EEADR
//Se almacena todos los bytes de calibracion
//y del patron de bits
LFSR 1,0x88
MOVLW 0x23
MOVWF CONT_CALIB
CALL Escrib_EEPROM
#endasm
}

//Implica que se estan recibiendo los datos que serviran para
la
//comunicacion con el modulo de actuadores
If(DATOS_USART[0]==25 && DATOS_USART[1]==75 &&
DATOS_USART[2]==225)
{
//En esta parte se almacenan los setpoint's en la
//EEPROM
#asm
MOVLW 0x41
CPFSEQ DATOS_USART[3]
BRA SetTemp
BRA SetHume

//Set point de temperature

```

```

SetTemp:
MOVLW 0x21                                //Se leen y envian por usart todos los parámetros
CPFSEQ DATOS_USART[3]                      almacenados
BRA NADA                                    //en la EEPROM
MOVLW 0x24                                  LOO:
BRA PROC                                    BCF EEPCD
                                           BCF CFGS
                                           BSF RD
                                           NOP
                                           NOP
                                           Call RETARDO_49mSegB
                                           MOVF EEDATA,W
                                           MOVWF TXREG
                                           INCF EEADR,1
                                           DECFSZ CONT_CALIB,1
                                           BRA LOO
                                           BCF RD
                                           #endasm
                                           }
                                           //Las siguientes instrucciones son necesarias para permitir
que
                                           //se continuen almacenando los datos que lleguen por usart
                                           #asm
                                           LFSR 1,0x88
                                           #endasm
                                           CONT_USART2 = 0;
                                           }

                                           //-----
                                           //----COMUNICACIÓN DEL MICRO CONTROLADOR HACIA EL
                                           //----ORDENADOR
                                           //-----

                                           //*****
                                           //Envio de datos por USART
                                           //*****
                                           Promedio_Global();

                                           #asm
                                           MOVLW 0x0 //Capture disabled
                                           MOVWF CCP1CON //Se deshabilita el CCP1

//Implica que el ordenador desea los datos de calibracion
If(DATOS_USART[0]==3 && DATOS_USART[1]==12 &&
DATOS_USART[2]==48)
{
#asm
CLRF EEADR
MOVLW 0x23
MOVWF CONT_CALIB
}
#endasm
}

```

```

#endasm                                     //-----
Send_Usart();                               CONTINUA2:
                                           MOVLW 0x03
                                           CPFSEQ INDICADOR
                                           BRA CONTINUA3
                                           BRA HSENSOR3
#asm                                         //-----
    Call RETARDO_1SEG                       CONTINUA3:
#endasm                                     MOVLW 0x04
                                           CPFSEQ INDICADOR
                                           BRA CONTINUA4
                                           BRA HSENSOR4
                                           //-----

                                           //RUTINA PARA SELECCIONAR EL CANAL
                                           //DE RECEPCION SEGUN EL SENSOR
                                           //ESCOGIDO
                                           HSENSOR1:
                                           BCF PORTD,0
                                           BCF PORTD,1
                                           BRA CONTINUA5
                                           HSENSOR2:
                                           BSF PORTD,0
                                           BCF PORTD,1
                                           BRA CONTINUA5
                                           HSENSOR3:
                                           BCF PORTD,0
                                           BSF PORTD,1
                                           BRA CONTINUA5
                                           HSENSOR4:
                                           BSF PORTD,0
                                           BSF PORTD,1

                                           CONTINUA5:

                                           //RUTINA PARA LIMPIAR EL ARREGLO
                                           //CONT_MUESTRAH, Y DEJARLO LISTO
                                           //PARA LA ASIGNACION DE 20 MUESTRAS
                                           LFSR 0,0x60
                                           MOVLW 0x14
                                           MOVWF CONT_MUESTRAH
                                           MOVLW 0x00
                                           VUELTA:
                                           MOVWF POSTINC0

#asm
SELECC_CANAL:
//RUTINA QUE SE ENCARGA DE LIMPIAR
//Y PARALIZAR AL MODULO CCP1
BCF TMR1ON //Se para el timer1
MOVLW 0x0 //Capture disabled
MOVWF CCP1CON //Se desabilita el CCP1
CLRF TMR1H //Limpieza de viariables
CLRF TMR1L
CLRF CCPR1H
CLRF CCPR1L
CLRF CCPR1H_TEMP
CLRF CCPR1L_TEMP
BCF CCP1IF
CLRF BANDERA

//RUTINA PARA SELECCIONAR EL
//SENSOR DEL CUAL SE VAN A OBTENER
//LOS DATOS
MOVLW 0x01
CPFSEQ INDICADOR
BRA CONTINUA1
BRA HSENSOR1
//-----
CONTINUA1:
MOVLW 0x02
CPFSEQ INDICADOR
BRA CONTINUA2
BRA HSENSOR2

```

```
MOVWF POSTINC0
DECFSZ CONT_MUESTRAH
BRA VUELTA
```

```
MOVLW 0x14
MOVWF CONT_MUESTRAH
LFSR 0,0x60
```

```
//RUTINA QUE HABILITA AL MODULO CCP1
```

```
BCF T1CKPS1 //PRESCALE VALUE 1:1
BCF T1CKPS0 //PRESCALE VALUE 1:1
MOVLW 0x05 //Capture mode: every rising edge
MOVWF CCP1CON
```

```
//ESTA RUTINA SE ENCARGA DE DAR UN
```

```
//RETARDO DE 16 MILISEGUNDOS
```

```
MOVLW 0x10
MOVWF CONT_DEL2
RETARDO:
  NOP
  NOP
  NOP
  NOP
  NOP
  DECFSZ CONT_DEL,1
  BRA RETARDO
  DECFSZ CONT_DEL2,1
  BRA RETARDO
```

```
CONTINUA4:
```

```
RETURN
```

```
//Crea un retardo de 1 segundo
```

```
RETARDO_1SEG:
  MOVLW 0xFF
  MOVWF contx1
  MOVLW 0x04
  MOVWF contx3
RETARDOxx:
  NOP
  NOP
  NOP
```

```
NOP
NOP
DECFSZ contx2,1
BRA RETARDOxx
DECFSZ contx1,1
BRA RETARDOxx
DECFSZ contx3,1
BRA RETARDOxx
```

```
Return
```

```
RETARDO_49mSegB:
```

```
MOVLW 0x30
MOVWF CONT_DEL2
MOVLW 0x00
MOVWF CONT_DEL
```

```
RETARDO5c:
```

```
NOP
NOP
NOP
NOP
DECFSZ CONT_DEL,1
BRA RETARDO5c
DECFSZ CONT_DEL2,1
BRA RETARDO5c
```

```
RETURN
```

```
Escrib_EEPROM:
```

```
LOOP:
```

```
MOVF POSTINC1,W
MOVWF EEDATA //Valor a escribir
```

```
BCF EEPGD //Set for Data EEPROM
BCF CFGS //Access EEPROM
BCF GIE //Disable Interrupts
```

```
BSF WREN //Enable writes
```

```
//Secuencia requerida
```

```
MOVLW 0x55
MOVWF EECON2
```

```

    MOVLW 0xAA
    MOVWF EECON2
    BSF WR //Initiates write operations
    //Fin de secuencia requerida

    Revisar:
    BTFSC WR
    BRA Revisar

    BCF EEIF
    INCF EEADR, F

    DECFSZ CONT_CALIB,1
    BRA LOOP

    BCF WREN //Disable writes on write complete (EEIF set)
    BSF GIE //Enable Interrupts

Return
}

#endasm

//*****
//
//Módulo de Obtención de la Temperatura Ambiente
//
//*****
signed int8 TemperaturaRealmbien(int8 numero_sensor)
{
    TemperaturaBack = 0;
    //Se inicia la comunicacion
    i2c_start();
    //Se selecciona al sensor
    i2c_write(numero_sensor);
    //Se manda el comando para lectura del registro
    i2c_write(0x00);
    //Se da la condicion de restart, para que el
    //esclavo me responda
    i2c_start();
    i2c_write(numero_sensor + 1);
    //Leo el dato, el cual saco por los leds

    TemperaturaBack = i2c_read(0);
    //Se termina la comunicacion
    i2c_stop();

    return TemperaturaBack;
}

//*****
//
//Módulo para la obtencion de Promedios para mediciones de
Humedad de
//un sensor en particular
//
//*****
void PromHumedad(int8 num_arreglo)
{
    SumHumeH=0;
    SumHumeL=0;

    //Se calcula el promedio del "high byte" de humedad
    for (CONT_H2=0;CONT_H2<=39;CONT_H2=CONT_H2+2)
    {
        SumHumeH=SumHumeH+DATOS_HUME[CONT_H2];
    }
    Prom1=(float32)SumHumeH*0.05;
    HumeH=(int8)Prom1;

    //Se calcula el promedio del "low byte" de humedad
    for (CONT_H2=1;CONT_H2<=39;CONT_H2=CONT_H2+2)
    {
        SumHumeL=SumHumeL+DATOS_HUME[CONT_H2];
    }
    Prom1=(float32)SumHumeL*0.05;
    HumeL=(int8)Prom1;

    //Convierte de pulsos a % de humedad relativa
    AcumuHumedad =(int16)HumeH*256 + (int16)HumeL;

    switch (num_arreglo)
    {
        case 0:
            K=0.0000011290139431205500;

```

```

break;
case 2:
K=0.0000011349098381009800;

break;
case 4:
K=0.0000011322143995253100;
break;
case 6:
K=0.0000011056843123052100;
break;
}

frec=0.0000005*AcumuHumedad;

frec=uno/frec;

capacitancia=K/frec;

capx=capacitancia*5555555555.5556;

A=capx*capx*capx;
B=capx*capx;
HR = -3465.6*A+10732*B-10457*capx+3245.9;

Verify_HR8bit=(signed int16)HR;

if(Verify_HR8bit > 100)
{
Verify_HR8bit=100;
}

if(Verify_HR8bit < 1)
{
Verify_HR8bit=1;
}

HR8bit=(int8)Verify_HR8bit;

ObtencionParamAB();

SEND_PORT[num_arreglo]=0;
SEND_PORT[num_arreglo+1]=HR8bit;

Param_A=(int16)DATOS_EEPRO[0]*256
(int16)DATOS_EEPRO[1];
Param_B=(int16)DATOS_EEPRO[2]*256
(int16)DATOS_EEPRO[3];
z1=(float32)Param_A*HR8bit;
z2=z1*0.001;
z3=(float32)(z2+Param_B-1000);
z4=(int32)z3;
if(z4 <= 65535)
{
if(z4 > 255)
{
z5=(float32)z4*0.00390625;
Division=(int8)z5;
SEND_PORT[num_arreglo]=Division;
resta=(int16)(z4-Division*256);
SEND_PORT[num_arreglo+1]=(int8)resta;
}
else
{
SEND_PORT[num_arreglo]=0;
SEND_PORT[num_arreglo+1]=(int8)z4;
}
}
}

//*****
//
//Módulo Obtencion parámetros A y B
//
//*****
void ObtencionParamAB()
{
#asm
MOVF INDICA_EEPRO,W
MOVWF EEADR
MOVLW 0x04
MOVWF CONT_CALIB
LFSR 0,0xBB
REPE:
BCF EEPGD
BCF CFGS

```

```

BSF RD
NOP
NOP
MOVF EEDATA,W
MOVWF POSTINCO
INCF EADR,1
DECFSZ CONT_CALIB,1
BRA REPE
BCF RD
#endasm
}

//*****
*****

//
//Módulo para la obtencion de Promedios para mediciones de
Temperatura
//de un sensor en particular
//
//*****
*****

void PromTemperatura(int8 numero_sensor, int8 num_arreglo)
{
    SumTemp=0;

    for
    (CONT_MUESTRAT=0;CONT_MUESTRAT<=19;CONT_MUESTRAT++
    )
    {
        DATOS_TEMP[CONT_MUESTRAT] =
TemperaturaRealmbien(numero_sensor);
        SumTemp=DATOS_TEMP[CONT_MUESTRAT]+SumTemp;
    }
    for
    (CONT_MUESTRAT=0;CONT_MUESTRAT<=19;CONT_MUESTRAT++
    )
    {
        DATOS_TEMP[CONT_MUESTRAT] = 0;
    }
    Prom1=(float32)SumTemp*0.05;
    TemperaturaReal=(int8)Prom1;

    SEND_PORT[num_arreglo]=TemperaturaReal;

    ObtencionParamAB();

    Param_A=(int16)DATOS_EEPRO[0]*256 +
(int16)DATOS_EEPRO[1];
    Param_B=(int16)DATOS_EEPRO[2]*256 +
(int16)DATOS_EEPRO[3];

    z1=(float32)Param_A*TemperaturaReal;
    z2=z1*0.001;
    z3=(float32)(z2+Param_B-1000);
    z4=(int32)z3;
    if(z4 <= 255)
    {
        SEND_PORT[num_arreglo]=(int8)z4;
    }
}

//*****
*****

//
//Módulo de comunicación con el Computador
//
//*****
*****

void Send_Usart()
{
    printf("%c",252);
    #asm
    CALL ESPERA
    #endasm
    printf("%c",126);
    #asm
    CALL ESPERA
    #endasm
    printf("%c",63);
    #asm
    CALL ESPERA
    #endasm
    for (CONT_USART1=0;CONT_USART1<=14;CONT_USART1++)
    {
        printf("%c",SEND_PORT[CONT_USART1]);
    }
    #asm
    CALL ESPERA
}

```

```

#endasm
}

#asm
MOVLW 0x23
MOVWF EEADR
MOVLW 0x02
MOVWF CONT_CALIB

LOOCC:
BCF EEPGD
BCF CFGS
BSF RD
NOP
NOP
Call ESPERA
MOVF EEDATA,W
MOVWF TXREG
INCF EEADR,1
DECFSZ CONT_CALIB,1
BRA LOOCC
BCF RD
#endasm

if (!input (PIN_B6))
{
ModActuadores();
}

#asm
//ESTA RUTINA SE ENCARGA DE DAR UN
//RETARDO DE 49 MILISEGUNDOS
ESPERA:
MOVLW 0x30
MOVWF CONT_DEL2
MOVLW 0x00
MOVWF CONT_DEL

RETARDO2:
NOP
NOP
NOP

```

```

NOP
NOP
DECFSZ CONT_DEL,1
BRA RETARDO2
DECFSZ CONT_DEL2,1
BRA RETARDO2
RETURN
#endasm
}

//*****
//
//Módulo de Obtencion de promedios Generales para humedad y
temperatura
//
//*****
void Promedio_Global()
{
SumHumeH=0;
SumHumeL=0;
for (CONT_H2=0;CONT_H2<=7;CONT_H2=CONT_H2+2)
{
SumHumeH=SumHumeH+SEND_PORT[CONT_H2];
}
Prom1=(float32)SumHumeH*0.25;
compa=(float32)Prom1*256;
AcumuHumedad = (int16)compa;
if(AcumuHumedad >= 256)
{
HumeH=(int8)Prom1;
}
Else
{
HumeH=(int8)compa;
}

for (CONT_H2=1;CONT_H2<=7;CONT_H2=CONT_H2+2)
{
SumHumeL=SumHumeL+SEND_PORT[CONT_H2];
}
Prom1=(float32)SumHumeL*0.25;
compa=(float32)Prom1*256;

```

```

AcumuHumedad = (int16)compa;
if(AcumuHumedad >= 256)
{
    Humel=(int8)Prom1;
}
Else
{
    Humel=(int8)compa;
}

AcumuHumedad = (int16)HumeH*256 + (int16)HumeL;
SEND_PORT[12]=HumeH;
SEND_PORT[13]=HumeL;

SumTemp=0;

for
(CONT_MUESTRAT=8;CONT_MUESTRAT<=11;CONT_MUESTRAT++)
{
    SumTemp=SEND_PORT[CONT_MUESTRAT]+SumTemp;
}

Prom1=(float32)SumTemp*0.25;
TemperaturaReal=(int8)Prom1;

SEND_PORT[14]=TemperaturaReal;
}

//*****
//
//Módulo para comunicación con los Actuadores
//
//*****
void ModActuadores()
{
    #asm
        MOVLW 0x23
        MOVWF INDICA_EEPRO
    #endasm

    ObtencionParamAB();

    AcutInstru=DATOS_EEPRO[2];

    if(AcutInstru == 33)
    {
        AcutSetP=DATOS_EEPRO[1];
    }
    if(AcutInstru == 65)
    {
        AcutSetP=DATOS_EEPRO[0];
    }

    humedad=SEND_PORT[13];
    temperatura=SEND_PORT[14];

    if((humedad <5 ))
    {
        humedad=5;
    }

    if((humedad >250 ))
    {
        humedad=250;
    }

    if((temperatura <5 ))
    {
        temperatura=5;
    }

    if((temperatura >250 ))
    {
        temperatura=250;
    }

    //Primer Byte
    i2c_start();
    i2c_write(0xb0);
    //DELAY_MS(20);
    #asm

```

```
CALL RETARDO_49mSegC
#endasm
```

```
i2c_write(0b11111100);
i2c_stop();
//DELAY_MS(20);
#asm
CALL RETARDO_49mSegC
#endasm
```

```
//Segundo Byte
i2c_start();
i2c_write(0xb0);
//DELAY_MS(20);
#asm
CALL RETARDO_49mSegC
#endasm
```

```
i2c_write(AcutInstru);
i2c_stop();
//DELAY_MS(20);
#asm
CALL RETARDO_49mSegC
#endasm
```

```
//Tercer Byte
i2c_start();
i2c_write(0xb0);
//DELAY_MS(20);
#asm
CALL RETARDO_49mSegC
#endasm
```

```
i2c_write(AcutSetP);
i2c_stop();
//DELAY_MS(20);
#asm
CALL RETARDO_49mSegC
#endasm
```

```
//Cuarto Byte
i2c_start();
i2c_write(0xb0);
//DELAY_MS(20);
```

```
#asm
CALL RETARDO_49mSegC
#endasm
```

```
i2c_write(temperatura); // temperatura
i2c_stop();
//DELAY_MS(20);
#asm
CALL RETARDO_49mSegC
#endasm
```

```
//Quinto Byte
i2c_start();
i2c_write(0xb0);
//DELAY_MS(20);
#asm
CALL RETARDO_49mSegC
#endasm
```

```
i2c_write(humedad); // humedad
i2c_stop();
//DELAY_MS(20);
#asm
CALL RETARDO_49mSegC
#endasm
```

```
#asm
RETARDO_49mSegC:
MOVLW 0x30
MOVWF CONT_DEL2
MOVLW 0x00
MOVWF CONT_DEL
```

```
RETARDO5D:
NOP
NOP
NOP
NOP
NOP
DECFSZ CONT_DEL,1
BRA RETARDO5D
DECFSZ CONT_DEL2,1
BRA RETARDO5D
RETURN
```

#endasm

}

D. Código del computador hecho en Visual Basic

1. Forma principal

'Se utilizan para almacenar el nombre y ruta

'del archivo generado en Excel

Dim infoRed As String

Dim infoRed2 As String

'Se utiliza con la aplicacion de excel

Dim MiExcel As Object

'Se utiliza para almacenar temporalmente los

'datos seriales enviados por el modulo de la

'red de sensores

Dim tempSerial(34) As String

'Se utiliza en el proceso de ir almacenando las

'mediciones en el arreglo tempSerial

Dim Contador As Integer

'Se utiliza en el proceso de ir almacenando la informacion

'de ajuste (setpoint + calibracion), ademas de las

'mediciones de humedad y temperatura, ignorando todos los

'patrones de bytes de inicio y fin

Dim Contador_serial As Integer

'Almacena las mediciones de las temperaturas, humedades,

'promedios, setpoints y calibracion

Dim Puerto_Serial(16) As Integer

'Se utiliza para indicar cuando los datos son de calibracion

'o de las mediciones de los sensores + setpoint's + promedios,

'para que estos se almacenen adecuadamente

Dim Bandera1 As Integer

'Almacena los parametros de calibracion para las curvas de

'humedad y temperatura

Dim Calibracion(34) As Integer

'Se utiliza en el proceso de ir barriendo los text boxes

'que muestran los parámetros de calibración, con el

'propósito de ir actualizando los mismos

Dim contadorx As Integer

'Indicador usado para crear una nueva hoja de excel, además

'de crear los titulos que llevará la misma solo una vez, cada

'vez que se inicie el programa

Dim Bandera4 As Boolean

'Indicador usado para informar que la aplicacion de excel esta

'abierta

Dim Bandera5 As Boolean

'Se utiliza para ir contando intervalos de 1 minuto, para

'conseguir que cada 10 minutos se almacenen las mediciones

'de la red de sensores en la hoja de excel

Dim Minutes_counter As Integer

'Se utiliza en el proceso de ir contando cada una de las lineas

'de la hoja de excel, a modo de ir insertando adecuadamente

'la informacion en la misma evitando el traslape. Además cumple

'la funcion de indicar cuantas muestras se han obtenido por los 8

'sensores

Dim Contador5 As Integer

'Se utiliza en el proceso de verificacion de overflow

'para irse moviendo unicamente de "high byte" en

""high byte"

Dim i As Integer

'Almacena la temperatura de los sensores

Dim temperatura(1) As Integer

Dim Temp_temp(1) As Integer

'Almacena la humedad de los sensores

Dim humedad(1) As Integer

Dim Temp_hume(1) As Integer

'Almacena la distancia que se puede desplazar en x

Dim desplazamiento_x As Integer

```

Dim desplazamiento_x2 As Integer

'Se utiliza con la funcion Graficar
Dim temp As String

'Se utiliza en el proceso de generar la grafica
Dim Conta As Integer
Dim Conta2 As Integer

'Se utiliza para leer los datos almacenados
Dim Conta4 As Integer
Dim Conta5 As Integer
Dim muestreo As Integer

Private Sub Command1_Click() 'Para salirse de la aplicacion

    If Command8.Visible = True Then
        'Se desactiva el timer
        With Timer1
            .Enabled = False
        End With

        'Se desactiva el interrupto serial
        With MSComm1
            .RThreshold = 0
        End With

        'Se guarda el documento de excel en un documento temporal
        'con su respectivo formato y luego se cierra Excel
        MiExcel.Application.DisplayAlerts = False
        MiExcel.ActiveWorkbook.SaveAs _
        FileName:=infoRed, _
        FileFormat:=xlExcel8
        MiExcel.ActiveWorkbook.Close
        MiExcel.Application.Quit
        Set MiExcel = Nothing

        'Para mostrar el menu que hara que el documento de excel se
        'almacene en otra ubicacion dentro del ordenador
        With CommonDialog1
            'Informacion para el usuario
            .Filter = "Microsoft Excel(*.xls)*.xls"
            .FileName = ""
            'Informacion para el usuario

            .DialogTitle = "Guardar archivo de Red de Sensores"
            .ShowSave
            'Se almacena el nombre escrito por el usuario
            infoRed2 = .FileName
        End With

        'Verifica que se haya escrito algo en la casilla
        If infoRed2 <> "" Then
            'El archivo temporal se mueve y renombra segun
            'lo haya decidido el usuario
            FileCopy "C:\Temp.xls", infoRed2 + ".xls"

            'Se elimina el archivo temporal
            Kill "C:\Temp.xls"
        End If

        'Para verificar la existencia del archivo temporal
        Busqueda = Dir$("C:\Temp.xls")

        'Se elimina cualquier archivo temporal que se haya
        'podido haber generado
        If Busqueda = "Temp.xls" Then
            Kill "C:\Temp.xls"
        End If
    End If

    'Se sale de la forma
    Unload Me
End Sub

'Para ingresar al menu de calibracion
Private Sub Command3_Click()
    Form3.Show
End Sub

'Para ingresar al menu del control de actuadores
Private Sub Command4_Click()
    Form2.Show
End Sub

'Para ingresar el tiempo de muestreo en minutos

```

```

Private Sub Command6_Click()
    If (Text3.Text <> "") Then
        Label23.Visible = True
        muestreo = CInt(Val(Text3.Text))
    End If
End Sub

Private Sub Command7_Click()
    Contador5 = 3
    Bandera4 = True

    'Se hace la referencia con excel
    Set MiExcel = CreateObject("Excel.application")

    'Ubicacion y nombre temporal del documento de
    'excel
    infoRed = "C:\Temp.xls"

    Bandera5 = True

    Command7.Visible = False
End Sub

Private Sub Command8_Click()
    Text2.Text = Trim$(Str(0))

    Bandera5 = False

    'Se desactiva el timer
    With Timer1
        .Enabled = False
    End With

    'Se desactiva el interrupto serial
    With MSComm1
        .RThreshold = 0
    End With

    'Se guarda el documento de excel en un documento temporal
    'con su respectivo formato y luego se cierra Excel
    MiExcel.Application.DisplayAlerts = False
    MiExcel.ActiveWorkbook.SaveAs _
    FileName:=infoRed, _
    FileFormat:=xlExcel8

    MiExcel.ActiveWorkbook.Close
    MiExcel.Application.Quit
    Set MiExcel = Nothing

    'Para mostrar el menu que hara que el documento de excel se
    'almacene en otra ubicacion dentro del ordenador
    With CommonDialog1
        'Informacion para el usuario
        .Filter = "Microsoft Excel(*.xls)*.xls"
        .FileName = ""
        'Informacion para el usuario
        .DialogTitle = "Guardar archivo de Red de Sensores"
        .ShowSave
        'Se almacena el nombre escrito por el usuario
        infoRed2 = .FileName
    End With

    'Verifica que se haya escrito algo en la casilla
    If infoRed2 <> "" Then
        'El archivo temporal se mueve y renombra segun
        'lo haya decidido el usuario
        FileCopy "C:\Temp.xls", infoRed2 + ".xls"

        'Se elimina el archivo temporal
        Kill "C:\Temp.xls"
    End If

    'Para verificar la existencia del archivo temporal
    Busqueda = Dir$("C:\Temp.xls")

    'Se elimina cualquier archivo temporal que se haya
    'podido haber generado
    If Busqueda = "Temp.xls" Then
        Kill "C:\Temp.xls"
    End If

    With Timer1
        .Enabled = True
    End With

    'Se activa el interrupto serial
    With MSComm1
        .RThreshold = 1
    End With

```

```

Command8.Visible = False
Command7.Visible = True

End Sub

Private Sub Form_Load()
'Dentro de este método se inicializan las
'variables y se establecen parametros
'para habilitar la comunicacion serial
'además del timer
Contador = 0
Contador_serial = 0

Minutes_counter = 0
muestreo = 1

Conta = 0
Conta2 = 0
Conta4 = 0
Conta5 = 0

If MSComm1.PortOpen = False Then
With MSComm1
.CommPort = 1
.Settings = "9600,n,8,1"
.InputLen = 1
.InBufferSize = 1024
.InputMode = comInputModeText
.RThreshold = 1
.PortOpen = True
End With
End If

With Timer1
'Se establece un intervalo de 60 segundos
'o 1 minuto
.Interval = 60000
.Enabled = True
End With

Command8.Visible = False
Label23.Visible = False

'Se establece conFiguracion del pictureBox
With Picture1(0)
.AutoRedraw = True
.DrawWidth = 2
End With

'Se establece conFiguracion del pictureBox
With Picture1(1)
.AutoRedraw = True
.DrawWidth = 2
End With

With Text2
.Locked = True
End With

With Text1(10)
.Locked = True
End With

With Text1(11)
.Locked = True
End With

End Sub

'Método que se encarga de interpretar los bytes recibidos a
'traves del puerto serial
Private Sub MSComm1_OnComm()

'Se almacena la informacion recibida
tempSerial(Contador) = MSComm1.Input

'Se verifica que se reciban caracteres acii válidos
'DEBUG#####
If (tempSerial(Contador) <> "") Then      'DEBUG#####
    'Text4.Text = Trim$(Str(Asc(tempSerial(Contador))))
'DEBUG#####
End If
'-----
'Se verifica que se reciban caracteres ascii válidos y que se este
recibiendo
'el patron de bytes esperado (para este caso, el primer byte es
252, el segundo
'es 126 y el último 63).

```

```

If (tempSerial(Contador) <> "") And (tempSerial(0) = String$(1,
252)) Then
    Contador = Contador + 1
    Bandera1 = 5
End If

```

```

If (Contador = 2) And (tempSerial(1) <> String$(1, 126) And
(Bandera1 = 5)) Then
    Contador = 0
End If

```

```

If (Contador = 3) And (tempSerial(2) <> String$(1, 63) And
(Bandera1 = 5)) Then
    Contador = 0
End If

```

```

'-----
'Se verifica que se reciban caracteres ascii válidos y que se este
recibiendo
'el patron de bytes esperado (para este caso, el primer byte es
15, el segundo
'es 60 y el último 240).
If (tempSerial(Contador) <> "") And (tempSerial(0) = String$(1,
15)) Then
    Contador = Contador + 1
    Bandera1 = 6
End If

```

```

If (Contador = 2) And (tempSerial(1) <> String$(1, 60) And
(Bandera1 = 6)) Then
    Contador = 0
End If

```

```

If (Contador = 3) And (tempSerial(2) <> String$(1, 240) And
(Bandera1 = 6)) Then
    Contador = 0
End If

```

```

'-----
'Esta parte se encarga de almacenar los parámetros de
calibracion del las
'curvas de humedad y temperatura, almacenadas dentro del pic

```

```

If ((Contador = 35) And (Bandera1 = 6)) Then
    Contador = 0
'Se almacenan los parametros, desechando el patron de bytes
For Contador_serial = 3 To 34
    Calibracion(Contador_serial - 3) =
Asc(tempSerial(Contador_serial))
Next Contador_serial

contadorx = 0

```

```

'Los parámetros son desplegados en la forma
"Calibración.frm"
For Contador_serial = 0 To 15
    Form3.Text1(Contador_serial).Text =
Trim$(Str(Calibracion(contadorx) * 256 + Calibracion(contadorx +
1)))
    contadorx = contadorx + 2
Next Contador_serial

End If

```

```

'-----
'Esta parte se encarga de recibir las mediciones de los sensores,
'los setpoint's y los promedios
If ((Contador = 20) And (Bandera1 = 5)) Then 'If 0
    Contador = 0

```

```

'Se almacenan los datos, desechando el patron de bytes;
'8 bytes son de las mediciones de humedad, 4 bytes de las
mediciones de
'temperatura, 2 bytes del promedio de humedad, 1 byte
del promedio de
'temperatura, 1 byte del setpoint de humedad y 1 byte del
setpoint de
'temperatura, haciendo un total de 17 bytes.
For Contador_serial = 3 To 19
    Puerto_Serial(Contador_serial - 3) =
Asc(tempSerial(Contador_serial))
Next Contador_serial

```

```

'Se hace una verificacion del "high byte" ya que se espera
que no sea

```

```
'mayor a 1. Esto debido a que al juntar al "high byte" y al
"low byte"
```

```
'puede convertirse en un numero mayor a 32,767 que
causara overflow
```

```
i = 0
```

```
Do While (i < 8)
```

```
If (Puerto_Serial(i) > 2) Then
```

```
    Puerto_Serial(i) = 2
```

```
End If
```

```
i = i + 2
```

```
Loop
```

```
'Se despliegan las 4 mediciones de los sensores de
humedad, y luego las
```

```
'de temperatura
```

```
'Text1(0).Text = Trim$(Str(Puerto_Serial(0) * 256 +
Puerto_Serial(1))) 'DEBUG#####
```

```
'Text1(1).Text = Trim$(Str(Puerto_Serial(2) * 256 +
Puerto_Serial(3))) 'DEBUG#####
```

```
'Text1(2).Text = Trim$(Str(Puerto_Serial(4) * 256 +
Puerto_Serial(5))) 'DEBUG#####
```

```
'Text1(3).Text = Trim$(Str(Puerto_Serial(6) * 256 +
Puerto_Serial(7))) 'DEBUG#####
```

```
'Text1(4).Text = Trim$(Str(Puerto_Serial(8)))
```

```
'DEBUG#####
```

```
'Text1(5).Text = Trim$(Str(Puerto_Serial(9)))
```

```
'DEBUG#####
```

```
'Text1(6).Text = Trim$(Str(Puerto_Serial(10)))
```

```
'DEBUG#####
```

```
'Text1(7).Text = Trim$(Str(Puerto_Serial(11)))
```

```
'DEBUG#####
```

```
'Se despliega el promedio de humedad
```

```
'If Puerto_Serial(12) * 100 > 255 Then
```

```
    'Text1(8).Text = Trim$(Str(Puerto_Serial(12) +
Puerto_Serial(13)))
```

```
'Else
```

```
    'Text1(8).Text = Trim$(Str(Puerto_Serial(12) * 256 +
Puerto_Serial(13)))
```

```
'End If
```

```
Label21.Caption = Trim$(Str(Puerto_Serial(13)))
```

```
'Se despliega el promedio de temperatura
```

```
Label18.Caption = Trim$(Str(Puerto_Serial(14)))
```

```
'Se despliega el set point de humedad
```

```
Text1(10).Text = Trim$(Str(Puerto_Serial(15)))
```

```
'Se despliega el set point de temperatura
```

```
Text1(11).Text = Trim$(Str(Puerto_Serial(16)))
```

```
'Se manda a desplegar data y color en las imagenes
```

```
temp = Display_Temp()
```

```
temp = Display_Hume()
```

```
'Este if verifica que hayan transcurrido 10 minutos, antes
de
```

```
'almacenar nueva información en la hoja de excel.
```

```
If (Minutes_counter >= muestreo) Then 'If 1
```

```
    If Bandera5 = True Then
```

```
        With MiExcel
```

```
            'Este if se realiza una vez, siempre que sea la
```

```
'primera vez que se inicie la forma
```

```
            If Bandera4 = True Then 'If 2
```

```
                Bandera4 = False
```

```
                'Se agrega un nuevo libro
```

```
                .Workbooks.Add
```

```
                'Formato de celdas
```

```
                .Range("B1:E1").Merge
```

```
                .Range("G1:J1").Merge
```

```
                'Se escribe en las celdas los titulos para que la
```

```
'información pueda ser interpretada por los usuarios
```

```
                'finales de la aplicacion
```

```
                .Cells(1, 2).Formula = "Humedades"
```

```
                .Cells(1, 7).Formula = "Temperaturas"
```

```
                .Cells(2, 1).Formula = "#"
```

```
                .Cells(2, 2).Formula = "Hume1"
```

```
                .Cells(2, 3).Formula = "Hume2"
```

```
                .Cells(2, 4).Formula = "Hume3"
```

```
                .Cells(2, 5).Formula = "Hume4"
```

```
                .Cells(2, 7).Formula = "Temp1"
```

```
                .Cells(2, 8).Formula = "Temp2"
```

```
                .Cells(2, 9).Formula = "Temp3"
```

```

.Cells(2, 10).Formula = "Temp4"

End If 'Cierre If 2

'Se escribe en las celdas las mediciones de los 8 sensores
.Cells(Contador5, 1).Formula = Trim$(Str(Contador5 - 3))
.Cells(Contador5, 2).Formula = Trim$(Str(Puerto_Serial(0)
* 256 + Puerto_Serial(1)))
.Cells(Contador5, 3).Formula = Trim$(Str(Puerto_Serial(2)
* 256 + Puerto_Serial(3)))
.Cells(Contador5, 4).Formula = Trim$(Str(Puerto_Serial(4)
* 256 + Puerto_Serial(5)))
.Cells(Contador5, 5).Formula = Trim$(Str(Puerto_Serial(6)
* 256 + Puerto_Serial(7)))
.Cells(Contador5, 7).Formula =
Trim$(Str(Puerto_Serial(8)))
.Cells(Contador5, 8).Formula =
Trim$(Str(Puerto_Serial(9)))
.Cells(Contador5, 9).Formula =
Trim$(Str(Puerto_Serial(10)))
.Cells(Contador5, 10).Formula =
Trim$(Str(Puerto_Serial(11)))

'Ajuste de celdas
.Columns("A:A").EntireColumn.AutoFit
.Columns("B:B").EntireColumn.AutoFit
.Columns("C:C").EntireColumn.AutoFit
.Columns("D:D").EntireColumn.AutoFit
.Columns("E:E").EntireColumn.AutoFit
.Columns("F:F").EntireColumn.AutoFit
.Columns("G:G").EntireColumn.AutoFit
.Columns("H:H").EntireColumn.AutoFit
.Columns("I:I").EntireColumn.AutoFit
.Columns("J:J").EntireColumn.AutoFit
.Columns("K:K").EntireColumn.AutoFit

End With

Contador5 = Contador5 + 1

'Se despliega la cantidad de mediciones tomadas hasta el
'momento
Text2.Text = Trim$(Str(Contador5 - 3))
Command8.Visible = True

End If

'Se manda a graficar la data con su respectivo
'color
temp = GraficarTemp(Puerto_Serial(14))
temp = GraficarHume(Puerto_Serial(13))

'Se inicializa el conteo de minutos
Minutes_counter = 0

Label23.Visible = False

End If 'Cierre If 1

'Limpieza de variables
For Contador_serial = 0 To 16
    Puerto_Serial(Contador_serial) = 0
Next Contador_serial

End If 'Cierre If 0

End Sub

'Ocurre cada minuto
Private Sub Timer1_Timer()

'Se va almacenando cada minuto transcurrido
Minutes_counter = Minutes_counter + 1

End Sub

*****
*****

'Funcion que se utiliza para graficar la información proveniente de
'los sensores de temperatura
*****
*****

Public Function GraficarTemp(ByVal Parametro As Integer)
    'Con esta formula se hace una conversion para que
    'el valor recibido se ajuste al tamaño de la graf

```

```

temperatura(Conta) = CInt(-72 * Parametro + 3720)
Temp_temp(Conta) = Parametro

'Para que no se pase del marco del picturebox
If desplazamiento_x >= 5835 Then

    'Para limpiar el picturebox
    Picture1(0).Cls
    desplazamiento_x = 0
End If

If Conta = 1 Then
    If desplazamiento_x > 0 Then
        'Despliegue continuo
        Picture1(0).Line (desplazamiento_x - 100, _
            temperatura(0))-(desplazamiento_x, temperatura(1)), _
            RGB(5.1 * Temp_temp(0), 0, -5.1 * Temp_temp(0) + 255)
        'La funcion RGB se utilizo para modificar el color de la graf
        'acorde a la magnitud de la temperatura
    Else
        'Despliegue continuo
        Picture1(0).Line (desplazamiento_x, _
            temperatura(0))-(desplazamiento_x + 100,
temperatura(1)), _
            RGB(5.1 * Temp_temp(0), 0, -5.1 * Temp_temp(0) + 255)
        'La funcion RGB se utilizo para modificar el color de la graf
        'acorde a la magnitud de la temperatura

        'Corrige el problema que la grafica inicie donde deberia
        desplazamiento_x = 100
    End If
    temperatura(0) = temperatura(1)
    Temp_temp(0) = Temp_temp(1)
    Conta = 0
End If

'Se desplaza en el tiempo la graf
desplazamiento_x = desplazamiento_x + 100
Conta = Conta + 1

End Function

*****
*****

```

```

'Funcion que se utiliza para graficar la información proveniente de
'los sensores de humedad
*****
*****

Public Function GraficarHume(ByVal Parametro As Integer)

    'Con esta formula se hace una conversion para que
    'el valor recibido se ajuste al tamaño de la graf
    humedad(Conta2) = CInt(-36 * Parametro + 3720)
    Temp_hume(Conta2) = Parametro

    'Para que no se pase del marco del picturebox
    If desplazamiento_x2 >= 5835 Then
        'Para limpiar el picturebox
        Picture1(1).Cls
        desplazamiento_x2 = 0
    End If

    If Conta2 = 1 Then
        If desplazamiento_x2 > 0 Then
            'Despliegue continuo
            Picture1(1).Line (desplazamiento_x2 - 100, _
                humedad(0))-(desplazamiento_x2, humedad(1)), _
                RGB(2.55 * Temp_hume(0) + 0, 0, -2.55 * Temp_hume(0) +
255)
            'La funcion RGB se utilizo para modificar el color de la graf
            'acorde a la magnitud de la humedad
        Else
            'Despliegue continuo
            Picture1(1).Line (desplazamiento_x2, _
                humedad(0))-(desplazamiento_x2 + 100, humedad(1)), _
                RGB(2.55 * Temp_hume(0) + 0, 0, -2.55 * Temp_hume(0) +
255)
            'La funcion RGB se utilizo para modificar el color de la graf
            'acorde a la magnitud de la humedad

            'Corrige el problema que la grafica inicie donde deberia
            desplazamiento_x2 = 100
        End If
        humedad(0) = humedad(1)
        Temp_hume(0) = Temp_hume(1)
        Conta2 = 0
    End If

```

```
'Se desplaza en el tiempo la graf
desplazamiento_x2 = desplazamiento_x2 + 100
Conta2 = Conta2 + 1

End Function

'*****
'*****
'Funcion que se utiliza para cambiar el color y mostrar las
mediciones
'de los sensores de temperatura, en la vista de planta del
invernadero
'*****
'*****
Public Function Display_Temp()

'Este for se encarga de mostrar las mediciones de los
'16 sensores de temperatura con su respectivo color
For Conta4 = 0 To 3

    Command5(Conta4).BackColor = RGB(5.1 *
Puerto_Serial(Conta4 + 8), _
    0, -5.1 * Puerto_Serial(Conta4 + 8) + 255)
    Command5(Conta4).ToolTipText = _
    Trim$(Str(Puerto_Serial(Conta4 + 8))) + "°C"

Next Conta4
```

2. Forma hija 1: Actuadores

```
'Para almacenar los set points que mantendrán bajo
'control al modulo de actuadores
Dim SetPoint1 As Integer
Dim SetPoint2 As Integer

'Para salirse de la forma hija
Private Sub Command1_Click()
    Unload Me
End Sub

Private Sub Command2_Click() 'Control humedad = Ventilacion
    SetPoint1 = Val(Text17.Text)
```

```
End Function

'*****
'*****
'Funcion que se utiliza para cambiar el color y mostrar las
mediciones
'de los sensores de humedad, en la vista de planta del
invernadero
'*****
'*****
Public Function Display_Hume()

'Este for se encarga de mostrar las mediciones de los
'10 sensores de humedad con su respectivo color
Conta5 = 1
For Conta4 = 4 To 7

    Command5(Conta4).BackColor = RGB(2.55 *
Puerto_Serial(Conta5) + 0, _
    0, -2.55 * Puerto_Serial(Conta5) + 255)
    Command5(Conta4).ToolTipText = _
    Trim$(Str(Puerto_Serial(Conta5))) + "%HR"
    Conta5 = Conta5 + 2

Next Conta4
End Function
```

```
'Patron de bytes para que la instruccion sea interpretada
'correctamente por el micro controlador
Form1.MSComm1.Output = Chr(25)
Form1.MSComm1.Output = Chr(75)
Form1.MSComm1.Output = Chr(225)

'Para indicar que se refiere al control de humedad
Form1.MSComm1.Output = Chr(65)
'Se envia el setpoint
Form1.MSComm1.Output = Chr(SetPoint1)
```

```
'La trama se completa con ceros para hacer un total de 35 bytes
For Cont = 0 To 29

    Form1.MSComm1.Output = Chr(0)
Next

End Sub
```

```
Private Sub Command3_Click() 'Control temperatura = Aspersores
    SetPoint2 = Val(Text16.Text)

    'Patron de bytes para que la instruccion sea interpretada
    'correctamente por el micro controlador
    Form1.MSComm1.Output = Chr(25)
    Form1.MSComm1.Output = Chr(75)
    Form1.MSComm1.Output = Chr(225)
```

```
'Para indicar que se refiere al control de temperatura
Form1.MSComm1.Output = Chr(33)
'Se envia el setpoint
Form1.MSComm1.Output = Chr(SetPoint2)
```

```
'La trama se completa con ceros para hacer un total de 35 bytes
For Cont = 0 To 29

    Form1.MSComm1.Output = Chr(0)
Next

End Sub
```

```
Private Sub Command4_Click() 'Apaga al control de Temperatura

    'Patron de bytes para que la instruccion sea interpretada
    'correctamente por el micro controlador
    Form1.MSComm1.Output = Chr(25)
```

3. Forma hija 2: Calibración

```
'Se utiliza en el proceso de convertir un numero
'mayor a 255 en 2 bytes
Dim Division As Integer
```

```
'Se utiliza en el proceso de almacenamiento del Calibra
'Array
Dim Contador_Bytes As Integer
```

```
Form1.MSComm1.Output = Chr(75)
Form1.MSComm1.Output = Chr(225)
```

```
'Para indicar que se refiere al control de temperatura
Form1.MSComm1.Output = Chr(33)
'Se envia el setpoint
Form1.MSComm1.Output = Chr(250)
```

```
'La trama se completa con ceros para hacer un total de 35 bytes
For Cont = 0 To 29

    Form1.MSComm1.Output = Chr(0)
Next

End Sub
```

```
Private Sub Command5_Click() 'Apaga al control de Humedad

    'Patron de bytes para que la instruccion sea interpretada
    'correctamente por el micro controlador
    Form1.MSComm1.Output = Chr(25)
    Form1.MSComm1.Output = Chr(75)
    Form1.MSComm1.Output = Chr(225)
```

```
'Para indicar que se refiere al control de humedad
Form1.MSComm1.Output = Chr(65)
'Se envia el setpoint
Form1.MSComm1.Output = Chr(250)
```

```
'La trama se completa con ceros para hacer un total de 35 bytes
For Cont = 0 To 29

    Form1.MSComm1.Output = Chr(0)
Next

End Sub
```

```
'Se utiliza en el proceso de barrer los displays
Dim Cont As Integer
```

```
'Se utiliza para almacenar los parametros de calibracion
Dim Calibra_Array(31) As Integer
```

```
'Se utiliza para guardar la posicion en el array
'Calibra_Array
```

```
Dim Cont2 As Integer
```

```
'Se utiliza en el proceso de separar un numero en 2 bytes
```

```
Dim Hola As String
```

```
'Se encarga de separar un numero en dos bytes
```

```
Public Function SeparacionBytes(ByVal Numero As Integer,
```

```
Contador As Integer)
```

```
    If Numero > 255 Then
```

```
        'Se almacena el byte Alto
```

```
        Division = Int(Numero / 256)
```

```
        Calibra_Array(Contador) = Division
```

```
        'Se almacena el byte Bajo
```

```
        Calibra_Array(Contador + 1) = Int(Numero - Division * 256)
```

```
    Else
```

```
        'Se almacena el byte Alto
```

```
        Calibra_Array(Contador) = 0
```

```
        'Se almacena el byte Bajo
```

```
        Calibra_Array(Contador + 1) = Numero
```

```
    End If
```

```
End Function
```

```
'Se ingresa en el siguiente codigo cuando se debe calibrar al micro controlador
```

```
Private Sub Command1_Click()
```

```
    Cont2 = 0
```

```
    For Cont = 0 To 15
```

```
        Hola = SeparacionBytes(Val(Text1(Cont).Text), Cont2)
```

```
        Cont2 = Cont2 + 2
```

```
    Next
```

```
'Patron de bytes para que la instruccion sea interpretada
```

```
'correctamente por el micro controlador
```

```
Form1.MSComm1.Output = Chr(15)
```

```
Form1.MSComm1.Output = Chr(60)
```

```
Form1.MSComm1.Output = Chr(240)
```

```
For Cont = 0 To 31
```

```
    Form1.MSComm1.Output = Chr(Calibra_Array(Cont))
```

```
Next
```

```
End Sub
```

```
'Se ingresa en el siguiente codigo cuando se debe comunicar los parametros de
```

```
'calibracion desde el micro controlador a la compu
```

```
Private Sub Command2_Click()
```

```
'Patron de bytes para que la instruccion sea interpretada
```

```
'correctamente por el micro controlador
```

```
Form1.MSComm1.Output = Chr(3)
```

```
Form1.MSComm1.Output = Chr(12)
```

```
Form1.MSComm1.Output = Chr(48)
```

```
For Cont = 0 To 31
```

```
    Form1.MSComm1.Output = Chr(0)
```

```
Next
```

```
End Sub
```

```
'Para salirse de la forma hija
```

```
Private Sub Command3_Click()
```

```
    Unload Me
```

```
End Sub
```

XII. GLOSARIO

- Acknowledge

Utilizado por un dispositivo receptor para confirmar la recepción de datos.

- Circuito estable

Posee dos estados posibles, ambos inestables, de manera que oscila entre los dos sin necesidad de señales externas de disparo.

-“half duplex”

Método de envío de información que permite una comunicación bidireccional entre dos dispositivos pero no de manera simultánea.

-HVAC

Se relaciona al control del clima, y sus siglas significan calor, ventilación y aire acondicionado.

- “hyper terminal”

Software de comunicaciones que permite conectar a otros periféricos al ordenador por medio del puerto serial RS-232.

-I²C

Protocolo serial utilizado para la comunicación de varios dispositivos conectados a un bus, en la que existen dispositivos esclavos identificados con una dirección que puede ser utilizada por un único componente maestro a la vez para controlarlos.

-Micro controlador

Circuito integrado cuya función es controlar a otros dispositivos. Para tal efecto posee un procesador (CPU), una memoria, periféricos internos y unidades de entrada y salida.

-multiplexor

Dispositivo electrónico que por medio de unas señales de control, puede recibir múltiples entradas y comunicar una a la vez, a través de una única salida.

-“Power-on Reset”

Periférico interno de algunos dispositivos que los reinicializa al aplicarles voltaje, asegurándose que el mismo opere e inicie en su estado deseado.

-“pull-up”

Resistencia colocada generalmente entre un circuito de drenaje abierto y un voltaje mayor a 0 voltios, para elevar la tensión de salida del mismo cuando este se comporte como alta impedancia.

- TTL

Se relaciona con la lógica del transistor, en la que únicamente existen dos estados; 0 o 5 voltios.