



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

Control de Temperatura y Humedad para Invernadero

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

Presentan:

**Contreras Martínez Juan Antonio
Muñoz Solís Alejandro**

Director de tesis: M.I. Miguel Ángel Bañuelos Saucedo

México, D.F.

2009

Gracias a todos los que hicieron posible este proyecto

CONTROL DE TEMPERATURA Y HUMEDAD PARA INVERNADERO

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN

I.1 Situación actual de los cultivos en México	4
I.2 Invernaderos	7
I.3 Variables comunes	15
I.4 Sistemas de control	17

II. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

II.1 Selección de variables de control	20
II.2 Márgenes de operación	22

III. DESARROLLO DEL SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA Y HUMEDAD

III.1 Diagrama esquemático del sistema	27
III.2 Selección de los sensores	28
III.3 Selección de los microprocesadores	42
III.4 Comunicación entre los dispositivos	48
III.5 Selección de actuadores	51
III.6 Etapa de potencia	54
III.7 Interfaz con usuario	56
III.8 Programación de los dispositivos	58
III.8.1 Programa C para microcontroladores	63

IV. RESULTADOS

IV.1 Márgenes de operación con Sistema de Control de Temperatura y Humedad	67
IV.2 Costo del sistema	69

V. CONCLUSIONES

Conclusiones	72
--------------	----

BIBLIOGRAFÍA	74
---------------------	----

ANEXO	75
--------------	----

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

I INTRODUCCIÓN

I.1 SITUACIÓN ACTUAL DEL CULTIVO EN MÉXICO

En nuestro país es común observar un escenario de pobreza para el campo, en donde se utilizan métodos muy antiguos de cultivo y se tiene muy poco control sobre las condiciones que afectan al desarrollo de los productos.

Para mostrar un ejemplo de los rendimientos presentamos la siguiente tabla, información proporcionada por la SAGARPA

Cultivo	Estado	Superficie sembrada (Ha)	Superficie cosechable (Ha)	Rendimiento (Ton/Ha)
Algodón hueso	Baja California	20,643	20,643	3.906
Algodón hueso	Región Lagunera	19,330	19,256	5.67
Arroz	Campeche	22,241	22,161	4.08
Arroz	Veracruz	10,215	9,752	4.73
Cebada grano	Hidalgo	105,832	101,476	1.97
Frijol	Durango	213,484	200,795	0.65
Frijol	Zacatecas	561,570	547,195	0.48
Maíz grano	Chiapas	562,118	562,118	2.28
Maíz grano	Estado de México	568,536	568,536	3.29
Maíz grano	Guanajuato	409,884	405,217	3.82
Maíz grano	Hidalgo	230,597	222,835	2.51
Maíz grano	Jalisco	620,571	583,069	5.71
Maíz grano	Michoacán	485,778	462,404	2.842
Maíz grano	Puebla	555,119	485,153	1.72

Maíz grano	Veracruz	374,922	303,478	2.46
Sorgo grano	Guanajuato	218,153	212,385	6.8
Sorgo grano	Jalisco	37,186	36,012	4.43
Sorgo grano	Michoacán	113,804	100,821	3.697
Sorgo grano	Puebla	15,331	15,275	3.6
Sorgo grano	Tamaulipas	179,988	163,722	2.374
Soya	Tamaulipas	44,660	41,659	1.63

Figura 1.1.1 Producción anual de diversos cultivos en México.

No es difícil notar los bajos rendimientos por unidad de superficie, de modo que para obtener una ganancia económica aceptable es necesario poseer una gran extensión de terreno como primer requisito. El cultivo en México no se limita estrictamente a granos, también podemos mencionar algunas hortalizas, como el jitomate, que es la hortaliza más consumida en el mundo, y que en México es producida con distintos métodos de cultivo, entre ellos el hidropónico en invernadero. Los rendimientos por hectárea de este cultivo llegan a ser de 160 Ton/Ha, un rendimiento muy superior al de la tabla anterior, de modo que resulta un cultivo más rentable, aunque mucho más delicado, por ello el uso de condiciones controladas.

Estos fenómenos tienen como consecuencia el empobrecimiento de las familias que trabajan el campo, pues en su mayoría no disponen del terreno suficiente para implementar un cultivo lo suficientemente grande que resulte rentable o no disponen de los conocimientos técnicos necesarios para implementar y mantener condiciones controladas para cultivos más delicados de mayor precio. Aunado a esto muchos pequeños productores se ven afectados por condiciones fortuitas como plagas y enfermedades o falta de agua que se traduce en pérdidas de cosechas o daños permanentes a las mismas.

Por otra parte la dificultad para comercializar los productos es otra barrera con la que se han tenido que enfrentar muchos campesinos.

Con todo lo anterior el campo mexicano vive una situación difícil, pero posee cualidades climáticas que lo favorecen muchísimo en comparación con otros países, pues en el territorio mexicano existe desde los climas más fríos hasta los más cálidos, lo que permite diversificar los cultivos y en buena parte no es necesario hacer demasiados gastos en infraestructura para lograr una buena

cosecha, sin embargo si algo hace falta en casi todo el país es la tecnificación del campo, no precisamente mecanización como se ha pensado en ocasiones, sino la introducción de diversas tecnologías, como la agricultura sin suelo, uso de nuevas variedades, control de variables climáticas, métodos nuevos de riego y recolección, y programación de cosechas.

1.2 INVERNADEROS

Un invernadero es toda aquella estructura cerrada cubierta por materiales transparentes, dentro de la cual es posible obtener unas condiciones artificiales de microclima, y con ello cultivar plantas fuera de estación en condiciones óptimas.

Las ventajas del empleo de invernaderos son:

- Precocidad en los frutos.
- Aumento de la calidad y del rendimiento.
- Producción fuera de época.
- Ahorro de agua y fertilizantes.
- Mejora del control de insectos y enfermedades.
- Posibilidad de obtener más de un ciclo de cultivo al año.

Inconvenientes:

- Alta inversión inicial.
- Alto costo de operación.
- Requiere personal especializado, de experiencia práctica y conocimientos teóricos.

Los invernaderos se pueden clasificar de distintas formas, según se atiende a determinadas características de sus elementos constructivos (por su perfil externo, según su fijación o movilidad, por el material de cubierta, según el material de la estructura, etc.).

La elección de un tipo de invernadero está en función de una serie de factores o aspectos técnicos:

- Tipo de suelo. Se deben elegir suelos con buen drenaje y de alta calidad aunque con los sistemas modernos de riego es posible utilizar suelos pobres con buen drenaje o sustratos artificiales.
- Topografía. Son preferibles lugares con pequeña pendiente orientados de norte a sur.
- Vientos. Se tomarán en cuenta la dirección, intensidad y velocidad de los vientos dominantes.
- Exigencias bioclimáticas de la especie en cultivo
- Características climáticas de la zona o del área geográfica donde vaya a construirse el invernadero
- Disponibilidad de mano de obra (factor humano)
- Imperativos económicos locales (mercado y comercialización).

Según la conformación estructural, los invernaderos se pueden clasificar en:

- Planos o tipo parral.
- Tipo raspa y amagado.
- Asimétricos.
- Capilla (a dos aguas, a un agua)
- Doble capilla
- Tipo túnel o semicilíndrico.
- De cristal o tipo Venlo.

Hay diversas clasificaciones de los tipos de invernaderos. Atendiendo a su forma arquitectónica cabe distinguir dos formas básicas:

Invernadero unimodular o monocapilla, constituido por un invernadero aislado de otras estructura.

Invernadero multimodular o multicapilla, lo forman una serie de invernaderos unidos, en disposición de módulos paralelos asociados. Los tipos multicapilla permiten un mejor aprovechamiento del suelo, siendo además baratos.

Atendiendo a la geometría de cubierta hay numerosas variantes. Las cubiertas de sección curva adoptan forma semicircular, semielíptica o de ojiva (arco gótico) entre otras. La dificultad de montar vidrio en estructuras curvas ha limitado su empleo hasta la aparición de las placas plásticas semirrígidas o de las láminas flexibles. El empleo de madera en las estructuras, igualmente, ha restringido el empleo de geometrías curvas, por la dificultad de su construcción.

En caso de cubiertas rectas, la cubierta a dos aguas puede ser simétrica o asimétrica, con diversidad de variación en los ángulos, según la latitud y condiciones locales. El invernadero de cubierta plana, inicialmente empleada en el invernadero parral, es cada vez menos usado. Las paredes laterales, en invernaderos monocapilla o monotúnel, pueden ser verticales o ligeramente inclinadas, siendo éstas últimas más ventajosas por su mayor transividad de luz; su interés disminuye al aumentar la anchura del invernadero. Como contrapartida limitan el cultivo de especies entutoradas junto a ese lateral, al reducir su altura útil.

Otros tipos de invernaderos poco empleados son el invernadero hinchable, en el cual el plástico del cerramiento se mantiene en posición por la presión del aire, reduciendo notablemente los elementos estructurales.

Invernadero plano o tipo parral

Este tipo de invernadero se utiliza en zonas poco lluviosas, aunque no es aconsejable su construcción. La estructura de estos invernaderos se encuentra constituida por dos partes claramente diferenciadas, una estructura vertical y otra horizontal:

- La estructura vertical está constituida por soportes rígidos que se pueden diferenciar entre perimetrales (soportes de cerco situados en las bandas y las esquinas) o interiores.

Los soportes intermedios suelen estar separados unos 2m en sentido longitudinal y 4m en dirección transversal, aunque también se presentan separaciones de 2x2 y 3x4.

Los soportes perimetrales tienen una inclinación hacia el exterior de aproximadamente 30° con respecto a la vertical, y junto con los vientos que sujetan su extremo superior sirven para tensar las cordadas de alambre de la cubierta. Estos apoyos generalmente tienen una separación de 2 m aunque en algunos casos se utilizan distancias de 1.5 m.

Tanto los apoyos exteriores como interiores pueden ser rollizos de pino o eucalipto y tubos de acero galvanizado.

- La estructura horizontal está constituida por dos mallas de alambre galvanizado superpuestas, implantadas manualmente de forma simultánea a la construcción del invernadero y que sirven para portar y sujetar la lámina de plástico.

Los invernaderos planos tienen una altura de cubierta que varía entre 2.15 y 3.5 m y la altura de las bandas oscila entre 2 y 2.7 m. Los soportes del invernadero se apoyan en bloques tronco-piramidales prefabricados de hormigón colocados sobre pequeños pozos de cimentación.

Las principales ventajas de los invernaderos planos son:

- Su economía de construcción.
- Su gran adaptabilidad a la geometría del terreno.
- Mayor resistencia al viento.
- Aprovecha el agua de lluvia en periodos secos.
- Presenta una gran uniformidad luminosa.

Las desventajas que presenta son:

- Poco volumen de aire.
- Mala ventilación.
- La instalación de ventanas cenitales es bastante difícil.
- Demasiada especialización en su construcción y conservación.
- Rápido envejecimiento de la instalación.
- Poco o nada aconsejable en los lugares lluviosos.
- Peligro de hundimiento por las bolsas de agua de lluvia que se forman en la lámina de plástico.
- Peligro de destrucción del plástico y de la instalación por su vulnerabilidad al viento.
- Difícil mecanización y dificultad en las labores de cultivo por el excesivo número de postes, alambre de los vientos, piedras de anclaje, etc.

- Poco estanco al goteo del agua de lluvia y al aire ya que es preciso hacer orificios en el plástico para la unión de las dos mallas con alambre, lo que favorece la proliferación de enfermedades fúngicas.

Invernadero en raspa y amagado

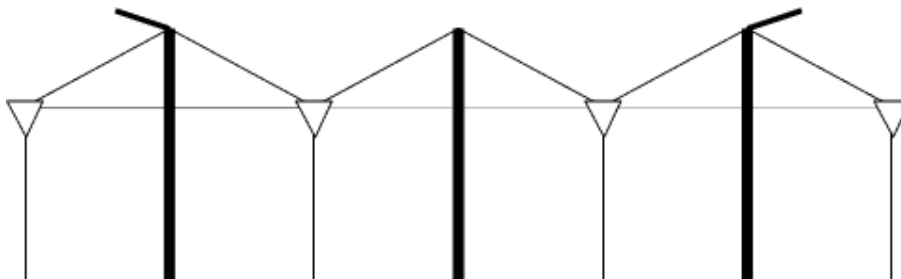


Figura 1.2.1 Invernadero en raspa y amagado.

Su estructura es muy similar al tipo parral pero varía la forma de la cubierta. Se aumenta la altura máxima del invernadero en la cumbre, que oscila entre 3 y 4.2 m, formando lo que se conoce como raspa. En la parte más baja, conocida como amagado, se unen las mallas de la cubierta al suelo mediante vientos y horquillas de hierro que permite colocar los canalones para el desagüe de las aguas pluviales. La altura del amagado oscila de 2 a 2.8 m, la de las bandas entre 2 y 2.5 m.

La separación entre apoyos y los vientos del amagado es de 2x4 y el ángulo de la cubierta oscila entre 6 y 20°, siendo este último el valor óptimo. La orientación recomendada es en dirección este-oeste.

Ventajas de los invernaderos tipo raspa y amagado:

- Su economía.
- Tiene mayor volumen unitario y por tanto una mayor inercia térmica que aumenta la temperatura nocturna con respecto a los invernaderos planos.
- Presenta buena estanqueidad a la lluvia y al aire, lo que disminuye la humedad interior en periodos de lluvia.
- Presenta una mayor superficie libre de obstáculos.
- Permite la instalación de ventilación cenital situada a sotavento.

Inconvenientes:

- Diferencias de luminosidad entre la vertiente sur y la norte del invernadero.
- No aprovecha las aguas pluviales.
- Se dificulta el cambio del plástico de la cubierta.
- Al tener mayor superficie desarrollada se aumentan las pérdidas de calor a través de la cubierta.

Invernadero asimétrico

Difiere de los tipo raspa y amagado en el aumento de la superficie en la cara expuesta al sur, con objeto de aumentar su capacidad de captación de la radiación solar. Para ello el invernadero se orienta en sentido este-oeste, paralelo al recorrido aparente del sol.

La inclinación de la cubierta debe ser aquella que permita que la radiación solar incida perpendicularmente sobre la cubierta al mediodía solar durante el solsticio de invierno, época en la que el sol alcanza su punto más bajo. Este ángulo deberá ser próximo a 60° pero ocasiona grandes inconvenientes por la inestabilidad de la estructura a los fuertes vientos. Por ello se han tomado ángulo comprendidos entre los 8 y 11° en la cara sur y entre los 18 y 30° en la cara norte.

La altura máxima de la cumbrera varía entre 3 y 5 m, y su altura mínima de 2.3 a 3 m. La altura de las bandas oscila entre 2.15 y 3 m. La separación de los apoyos interiores suele ser de 2x4 m.

Ventajas de los invernaderos asimétricos:

- Buen aprovechamiento de la luz en la época invernal.
- Su economía.
- Elevada inercia térmica debido a su gran volumen unitario.
- Es estanco a la lluvia y al aire.
- Buena ventilación debido a su elevada altura.
- Permite la instalación de ventilación cenital a sotavento.

Inconvenientes de los invernaderos asimétricos:

- No aprovecha el agua de lluvia.
- Se dificulta el cambio del plástico de la cubierta.
- Tiene más pérdidas de calor a través de la cubierta debido a su mayor superficie desarrollada en comparación con el tipo plano.

Invernadero de capilla

Los invernaderos de capilla simple tienen la techumbre formando uno o dos planos inclinados, según sea a un agua o a dos aguas.

Este tipo de invernadero se utiliza bastante, destacando las siguientes ventajas:

- Es de fácil construcción y de fácil conservación.
- Es muy aceptable para la colocación de todo tipo de plástico en la cubierta.
- La ventilación vertical en paredes es muy fácil y se puede hacer de grandes superficies, con mecanización sencilla. También resulta fácil la instalación de ventanas cenitales.
- Tiene grandes facilidades para evacuar el agua de lluvia.
- Permite la unión de varias naves en batería.

La anchura que suele darse a estos invernaderos es de 12 a 16 metros. La altura en cumbrera está comprendida entre 3.25 y 4 metros.

Si la inclinación de los planos de la techumbre es mayor a 25° no ofrecen inconvenientes en la evacuación del agua de lluvia.

La ventilación es por ventanas frontales y laterales. Cuando se trata de estructuras formadas por varias naves unidas la ausencia de ventanas cenitales dificulta la ventilación.

Invernadero de doble capilla

Los invernaderos de doble capilla están formados por dos naves yuxtapuestas. Su ventilación es mejor que en otros tipos de invernadero, debido a la ventilación cenital que tienen en cumbrera de los dos escalones que forma la yuxtaposición de las dos naves; estas aberturas de ventilación suelen permanecer abiertas constantemente y suele ponerse en ellas malla mosquitera. Además también poseen ventilación vertical en las paredes frontales y laterales.

Este tipo de invernadero no está muy extendido debido a que su construcción es más difícil y cara que el tipo de invernadero capilla simple a dos aguas.

Invernadero túnel

Se caracteriza por la forma de su cubierta y por su estructura totalmente metálica. El empleo de este tipo de invernadero se está extendiendo por su mayor capacidad para el control de los factores climáticos, su gran resistencia a fuertes vientos y su rapidez de instalación al ser estructuras prefabricadas.

Los soportes son de tubos de hierro galvanizado y tienen una separación interior de 5x8 o 3x5 m. La altura máxima de este tipo de invernaderos oscila entre 3.5 y 5 m. En las bandas laterales se adoptan alturas de 2.5 a 4 m.

El ancho de estas naves está comprendido entre 6 y 9 m y permiten el adosamiento de varias naves en batería. La ventilación es mediante ventanas cenitales que se abren hacia el exterior del invernadero.

Ventajas de los invernaderos tipo túnel:

- Estructuras con pocos obstáculos en su estructura.
- Buena ventilación.
- Buena estanqueidad a la lluvia y al aire.
- Permite la instalación de ventilación cenital a sotavento y facilita su accionamiento mecanizado.
- Buen reparto de la luminosidad en el interior del invernadero.
- Fácil instalación.

Inconvenientes:

- Elevado coste.
- No aprovecha el agua de lluvia.

Invernadero de cristal

Este tipo de invernadero, también llamado Venlo, es de estructura metálica prefabricada con cubierta de vidrio y se emplean generalmente en el Norte de Europa.

El techo de este invernadero industrial está formado por paneles de vidrio que descansan sobre los canales de recogida de pluviales y sobre un conjunto de barras transversales. La anchura de cada módulo es de 3.2 m. Desde los canales hasta la cumbrera hay un solo panel de vidrio de una longitud de 1.65 m y anchura que varía desde 0.75 m hasta 1.6 m.

La separación entre columnas en la dirección paralela a los canales es de 3m. En sentido transversal están separadas 3.2 m si hay una línea de columnas debajo de cada canal, o 6.4 m si se construye algún tipo de viga en celosía.

Ventajas:

- Buena estanqueidad lo que facilita una mejor climatización de los invernaderos.

Inconvenientes:

- La abundancia de elementos estructurales implica una menor transmisión de luz.
- Su elevado coste.
- Naves muy pequeñas debido a la complejidad de su estructura.

Materiales empleados en las estructuras

La estructura es el almacén del invernadero, constituida por pies derechos, vigas, correas, etc., que soportan la cubierta, el viento, la lluvia, la nieve, los aparatos que se instalan, sobrecargas de entutorado de plantas, de instalaciones de riego y atomización de agua, etc. Deben limitarse a un mínimo el sombreo y la libertad de movimiento interno.

Las estructuras de los invernaderos deben reunir las condiciones siguientes:

- Deben ser ligeras y resistentes.
- De material económico y de fácil conservación.
- Susceptibles de poder ser ampliadas.
- Que ocupen poca superficie.
- Adaptables y modificables a los materiales de cubierta.

La estructura del invernadero es uno de los elementos constructivos que mejor se debe estudiar, desde el punto de vista de la solidez y de la economía, a la hora de definirse por un determinado tipo de invernadero.

Los materiales más utilizados en la construcción de las estructuras de los invernaderos son madera, hierro, aluminio, alambre galvanizado y hormigón armado.

Es difícil encontrar un tipo de estructura que utilice solamente una clase de material ya que lo común es emplear distintos materiales.

En las estructuras de los invernaderos que se construyen en la actualidad se combinan los materiales siguientes: madera y alambre; madera, hierro y alambre; hierro y madera; hierro, alambre y madera; hormigón y madera; hormigón y hierro; hormigón, hierro, alambre y madera.

I.3 VARIABLES COMUNES

En el interior del invernadero, los factores radiación, temperatura y composición de la atmósfera son modificados generando un microclima distinto al local. Las modificaciones dependen esencialmente de la naturaleza y las propiedades del material de cerramiento, de las condiciones de renovación de aire, de la forma, dimensiones y orientación del invernadero, la cubierta vegetal presente y de las posibilidades de evaporación.

Cuando se genera un clima interior sin la intervención humana, sin calefacción ni ventilación forzada o pulverización de agua se dice que se tiene un clima espontáneo en el invernadero.

Un invernadero, normalmente, contiene un cultivo que se riega y su suelo está húmedo.

El invernadero vacío y seco no tiene más interés que el teórico, a efectos de estudio, pero no es representativo de condiciones reales.

El efecto invernadero es el resultado de dos fenómenos distintos: 1) un efecto de abrigo o confinamiento (efecto convectivo), debido a la reducción de intercambios de aire con la atmósfera exterior y 2) un efecto invernadero radiativo, debido a la existencia de la cubierta, que es una pantalla transparente a los rayos infrarrojos largos (que emiten el suelo, la vegetación y elementos interiores del invernadero). La primera alteración que genera un invernadero sobre los parámetros climáticos es una reducción de la radiación solar, debido a la presencia de la cubierta, de modo que solo se transmite una parte de la radiación solar, la cantidad de luz transmitida depende directamente del material de que esta construido el invernadero, pero también es modificada por otros factores como la nubosidad, la posición del sol, de la propia geometría del invernadero y su orientación.

Temperatura:

Estas condiciones derivan que las temperaturas se modifiquen dentro del invernadero. En un invernadero sin calefacción la principal fuente de calor durante el día es la radiación solar, parte de la cual es almacenada en el suelo. Durante la noche, la energía procede principalmente del suelo, en forma de radiación infrarroja.

Los intervalos de temperatura adecuados en invernadero, para la mayor parte de las especies, oscilan entre 10° y 30° C, con valores diurnos superiores a los nocturnos. Como, además, las mayores pérdidas de energía del invernadero se producen de noche es favorable mantener temperaturas más bajas de noche ya que además, limitan las pérdidas por respiración.

En cultivos con tomate, una temperatura nocturna en torno a los 15° C limita las pérdidas por respiración y puede considerarse óptima, constituyéndose en factor limitante para ubicar invernaderos si supera esos valores nocturnos.

Cuando las temperaturas son inferiores a las óptimas, normalmente, disminuye la calidad del producto.

La Humedad:

La contribución más importante a los intercambios de vapor de agua en un invernadero la efectúa la transpiración del cultivo, aunque también tiene influencia la evaporación de agua.

Durante el día, en el invernadero al aumentar la temperatura, la Humedad Relativa (HR) disminuye aunque la humedad absoluta aumente con la transpiración. Al ventilar, el aire exterior más frío y más seco que entra reduce la HR, pues este aire exterior se calienta con más rapidez de la que se enriquece con vapor de agua.

De noche, al enfriarse el invernadero, la HR crece pudiendo incluso alcanzar saturación y entonces se produce condensación sobre las superficies del invernadero.

La transpiración de agua por el cultivo tiene una gran incidencia en la humedad relativa. Cuando un cultivo desarrollado evapora agua activamente sombrea el suelo y evita el calentamiento del invernadero durante el día. Un invernadero sin cultivo y sin riego estará mucho más caliente en un día soleado y las variaciones de temperatura y HR serán mucho mayores entre el día y la noche.

Contenido de CO₂

La ventilación, la fotosíntesis, la respiración de las plantas y la generación de dióxido de carbono en el suelo por respiración radicular y descomposición orgánica influyen en el contenido de CO₂ del aire del invernadero.

De noche la concentración de dióxido de carbono aumenta a un nivel superior a la del exterior por la respiración de las plantas, pero durante el día debido a la fotosíntesis este fenómeno es distinto, pues la concentración de este gas disminuye considerablemente.

Un objetivo de la ventilación es evitar reducciones superiores a las 50ppm respecto al contenido normal del aire (350ppm). La ventilación para reducir temperatura que suele tener tasas de 20 a 30 renovaciones por hora suele ser suficiente.

I.4 SISTEMAS DE CONTROL

La regulación de un proceso, en un sistema físico, agrupa el conjunto de técnicas y medios materiales que se dedican a conseguir que, sea cual sea la perturbación, la magnitud física a regular iguale un valor deseado que llamaremos consigna.

El principio general de la regulación es el siguiente: 1) Se cuantifica el valor del parámetro que se pretende regular, bien por medida o por cálculo. 2) Este valor medido se compara con el valor consigna del parámetro, que puede estar predefinido. 3) Por último, mediante uno o varios actuadores, se ponen en funcionamiento uno o más equipos, para reducir la diferencia entre el valor medido y el valor consigna del parámetro en cuestión.

En control clásico, los procesos a regular son considerados como sistemas entrada-salida (input-output). Las entradas pueden ser de dos clases: entradas de control, entradas exógenas o perturbaciones. Las entradas del sistema en un invernadero son: el aporte de CO₂, el aporte de calor de calefacción y la apertura de ventanas para ventilar. Las perturbaciones son la temperatura exterior, la velocidad y dirección del viento exterior, la humedad exterior, la radiación global y el CO₂ exterior. Las salidas son la temperatura interior, la humedad interior y el CO₂ interior.

Métodos de regulación

Hay dos métodos de regulación: manual y automático. La regulación manual es indispensable cuando las condiciones climáticas son excepcionales (heladas intensas, etc.) y en condiciones imprevistas.

Los reguladores pueden clasificarse según su tipo de regulación, que es el modo de efectuar el cálculo de la corrección a efectuar. Hay dos clases principales de reguladores: 1) *Reguladores no progresivos*: que sólo regulan posiciones fijas del órgano regulado. 2) *Reguladores progresivos*: que regulan cualquier posición.

En el tipo de reguladores no progresivos (on/off), el actuador sólo puede tomar dos posiciones: encendido o apagado. Una ventilación forzada, por ejemplo, arranca si la temperatura interior excede de 23 °C y para si baja de 20 °C, valores consigna que se prefijan.

Una desventaja de este método son los frecuentes arranques y paradas en torno al valor consigna. Hay tres maneras de evitarlo:

- a) Por demora de tiempo. Una vez arrancado un equipo no puede parar hasta que transcurra un cierto tiempo mínimo.
- b) Por zona muerta. Alrededor del valor consigna se fija en zona muerta(x), de modo que el equipo regulado para la consigna de (c) arranca cuando alcanza el valor ($c - x$) y para al superar ($c + x$). De este modo se evitan frecuentes arranques y paradas.
- c) Por uso de valores medios. Se emplea en aquellos parámetros que pueden variar mucho como la velocidad del viento o la luz. Al emplearse como consigna los valores medios se amortigua mucho la variabilidad.

CAPÍTULO 2

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

II DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

II.1 SELECCIÓN DE VARIABLES DE CONTROL

Con todas las variables dentro y fuera del invernadero es muy difícil tener un control sobre todas, sin embargo es común seleccionar solo unas cuantas más relevantes, en realidad son solo tres las variables que influyen principalmente en un invernadero, la humedad relativa, la temperatura y la concentración de CO₂ en el aire interior del microclima.

Para seleccionar las variables adecuadas de control, es necesario obtener los valores típicos de dichas variables en la región en donde se planea implementar el sistema, además de valorar la importancia y repercusión en el cultivo de la selección hecha.

Hay que considerar las acciones de control utilizadas comúnmente para valorar el coste y necesidad de cada una.

Comenzando con el control del dióxido de carbono, se recomienda no exceder niveles superiores a 1000ppm en general para cualquier planta a excepción del pepino donde solo se recomienda hasta 750ppm, y en cultivos como el jitomate aunque no se presenta reducción del tamaño de la hoja con valores cercanos a las 1000ppm se puede producir una adaptación al CO₂ y ocasionar que el enriquecimiento con este gas no aumente la producción de fruto como sería el objetivo. La ventilación es el método más económico para limitar la reducción de CO₂ en el aire del invernadero, pero solo permite alcanzar como máximo los valores de concentración del aire exterior, aproximadamente unas 350ppm.

El enriquecimiento artificial es una práctica usual por que aumenta notablemente la velocidad de desarrollo de los cultivos y en general todos los rendimientos, sin embargo no siempre es costeable pues se recomienda su uso solo en invernaderos cerrados o con poca ventilación, lo que aumenta los gastos en control de temperatura, para que se aproveche el enriquecimiento con este gas debe haber una iluminación suficiente para que el proceso fotosintético se efectúe y algunos métodos producen gases secundarios que dañan el cultivo.

Para manejar un valor de temperatura debemos mencionar que en general en la región se tienen temperaturas elevadas de hasta 42 °C lo que enfocará nuestras acciones de control a una refrigeración dejando muy

convenientemente de lado la calefacción, pues es una acción generalmente mucho más costosa.

La lucha contra las temperaturas elevadas en un invernadero se centra en reducir los aportes de energía y eliminar los excesos de la misma, por ejemplo para reducir los aportes de energía exterior, generalmente radiación solar, simplemente se utilizan mallas de sombreado interior y exterior.

La reducción de los excesos de energía se logra con tan solo tener una buena ventilación, ya sea natural o forzada. Si las temperaturas son muy elevadas puede ser necesario usar métodos de refrigeración como la evaporación de agua.

La medida primaria para limitar las altas temperaturas es regar bien a las plantas y mantener una humedad relativa adecuada para que las plantas transpiren al máximo y reduzcan su temperatura, por supuesto complementando esto con una buena renovación de aire.

Para controlar la humedad relativa hay dos procedimientos comunes, uno es calentar aire y hacerlo circular por el invernadero y la otra es el uso de bobinas de enfriamiento que condensan la humedad, ambos requieren de una buena cantidad de energía, sin embargo el primero aumenta notablemente la temperatura del invernadero, de modo que puede ser más recomendable el segundo en lugares donde la temperatura es elevada, normalmente se puede conseguir reducir la humedad relativa con tan solo ventilación forzada pues el aire exterior es casi siempre menos húmedo pues las plantas en el interior del invernadero al transpirar aumentan la humedad relativa.

Mientras que los niveles de dióxido de carbono pueden ser controlados de maneras muy simples como una buena ventilación, las otras dos variables no podrán ser controladas de un modo sencillo, pues la temperatura promedio en el lugar de la instalación es de 32 °C con mínimos de 15 °C y máximos de 42 °C, y una humedad relativa del 40% al 60%, de modo que los accionamientos estarán enfocados principalmente a bajar la temperatura y disminuir la humedad relativa, hay que resaltar que la temperatura disminuirá por la evaporación de agua en las hojas de las plantas, mientras que este mismo fenómeno aumenta la humedad relativa.

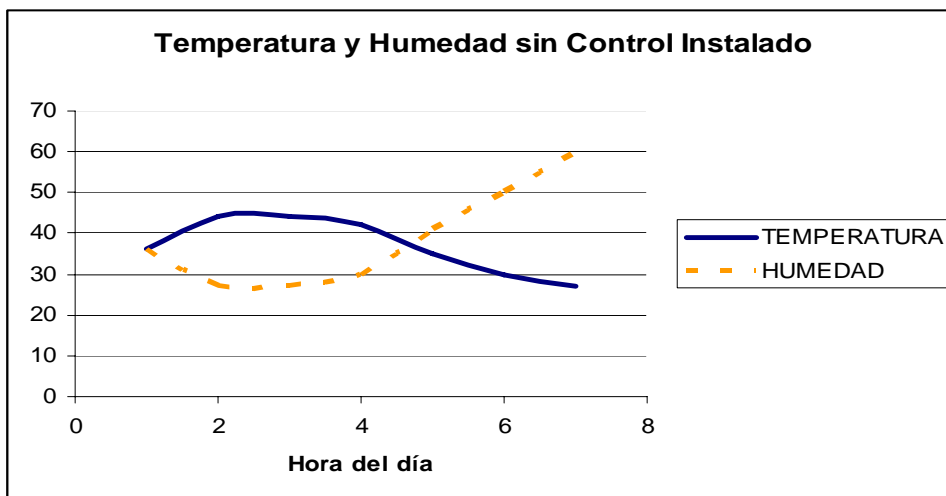
II.2 Márgenes de operación

Considerando los valores de temperatura medidos en diferentes épocas del año en Morelos (Galeana) obtuvimos valores que van desde los 10°C por la noche hasta los 45°C por el día, por lo cual analizando los siguientes datos de la tabla y sabiendo que es el parámetro más importante a tener en cuenta en el manejo del ambiente dentro de un invernadero, ya que es el que más influye en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Normalmente la temperatura óptima para las plantas de jitomate se encuentra entre los 20°C y 25°C. Para el manejo de la temperatura es importante conocer las necesidades y limitaciones de la especie cultivada. Así mismo se deben aclarar los siguientes conceptos de temperaturas, que indican los valores consigna a tener en cuenta para el buen funcionamiento del cultivo y sus limitaciones:

Temperaturas medias en la región de Galeana de Morelos en diferentes horarios:

FECHA	HORA	TEMPERATURA	HUMEDAD
19-Nov-08	13	36	36
19-Nov-08	14	44	27
19-Nov-08	15	44	27
19-Nov-08	16	42	30
19-Nov-08	17	35	41
19-Nov-08	18	30	50
19-Nov-08	19	27	60

Obtuvimos las siguientes gráficas:



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

Por lo tanto observamos que el control debe estar encaminado a la refrigeración del invernadero; es decir, la disminución de la temperatura en el mismo.

EXIGENCIAS DE TEMPERATURA TOMATE SALADETTE PARA EL JITOMATE	
	SEMILLA YAQUI
T^a mínima letal	0-2
T^a mínima biológica	10-15
T^a óptima	20-25
T^a máxima biológica	27-30
T^a máxima letal	33-38

La temperatura en el interior del invernadero, va a estar en función de la radiación solar, comprendida en una banda entre 200 y 4000 nm, la misión principal del invernadero será la de acumular calor durante las épocas invernales. El calentamiento del invernadero se produce cuando el infrarrojo largo, procedente de la radiación que pasa a través del material de cubierta, se transforma en calor. Esta radiación es absorbida por las plantas, los materiales de la estructura y el suelo. Como consecuencia de esta absorción, éstos emiten radiación de longitud más larga que tras pasar por el obstáculo que representa la cubierta, se emite radiación hacia el exterior y hacia el interior, calentando el invernadero. El calor se transmite en el interior del invernadero por irradiación, conducción, infiltración y por convección, tanto calentando como enfriando. La conducción es producida por el movimiento de calor a través de los materiales de cubierta del invernadero. La convección tiene lugar por el movimiento del calor por las plantas, el suelo y la estructura del invernadero. La infiltración se debe al intercambio de calor del interior del invernadero y el aire frío del exterior a través de las juntas de la estructura. La radiación, por el movimiento del calor a través del espacio transparente.

La lucha contra las temperaturas elevadas se centra en reducir los aportes de energía y eliminar los excesos de la misma. El aumento de las pérdidas de energía se consigue con ventilación, natural y forzada como primer paso; aunque las disminuciones en la práctica son muy pobres en el primero y limitadas en el segundo. Todo sistema de ventilación sólo puede reducir la temperatura del aire interior a los valores del aire exterior si el aire renovado tiene igual humedad. Por lo tanto es necesario reducir más la temperatura interior, para lo cual es necesario utilizar métodos de refrigeración activa, de

bajo costo y de mayor efectividad, para este caso se puede evaporar agua por nebulización ya que métodos como el enfriamiento de aire por circuito frigorífico es antieconómico, en condiciones normales y para este tipo de cultivo.

Aunque a nivel de planta, la primera medida para limitar las altas temperaturas, es regar bien, para que las plantas transpiren al máximo y reduzcan su temperatura, completada con una renovación de aire eficiente de aire por ventilación.

El método para reducir la temperatura es el de nebulización. Los sistemas de nebulización tienen por fin crear una niebla para refrigerar en el interior del invernadero.

Las gotas de agua deben de ser lo suficientemente pequeñas para que no lleguen a mojar las plantas, para evitar el desarrollo de enfermedades y el depósito de sales de agua, al evaporarse desde la superficie de las hojas, entre los nebulizadores. Se consideran óptimos los tamaños de gota de 0.5 a 50 micras, para máxima eficiencia (ASAE, 2002). Por ello, las gotas deben producirse a cierta altura por encima de las plantas, para que su tamaño y altura caigan lentamente y se evaporen antes de alcanzar las plantas, absorbiendo energía y reduciendo temperatura.

El primer efecto de la nebulización de agua es el enfriamiento del aire por evaporación al extraer $2.45 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$ de energía calorífica: El aire enfriado (más denso) desciende e induce un movimiento convectivo. Si el sistema está bien regulado, el agua no llega a tocar las plantas. Hay que considerar el efecto negativo de la nebulización fina sobre la radiación PAR, pues la reduce, pero mucho menos que el encalado o sombreado.

Por otro lado, las mediciones de humedad obtenidas fueron las siguientes:

La humedad es la masa de agua en unidad de volumen, o en unidad de masa de aire. La humedad relativa es la cantidad de agua contenida en el aire, en relación con la máxima que sería capaz de contener a la misma temperatura. Existe una relación inversa de la temperatura con la humedad por lo que a elevadas temperaturas, aumenta la capacidad de contener vapor de agua y por tanto disminuye la HR. Con temperaturas bajas, el contenido en HR aumenta. Cada especie tiene una humedad ambiental idónea para vegetar en perfectas condiciones: al tomate, al pimiento y berenjena les favorece una HR sobre el 50-60%; al melón, entre el 60-70%; al calabacín, entre el 65-80% y al pepino entre el 70-90%.

La HR del aire es un factor climático que puede modificar el rendimiento final de los cultivos. Cuando la HR es excesiva las plantas reducen la transpiración y disminuyen su crecimiento, se producen abortos florales por apelmazamiento del polen y un mayor desarrollo de enfermedades. Por el contrario, si es muy baja, las plantas transpiran en exceso, pudiendo deshidratarse, además de los comunes problemas de mal cuaje.

El exceso puede reducirse mediante ventilado, aumento de la temperatura y evitando el exceso de humedad en el suelo. La falta puede corregirse con riegos, llenando canalillas o balsetas de agua, pulverizando agua en el ambiente, ventilado y sombreado. La ventilación cenital en invernaderos con anchura superior a 40 m es muy recomendable, tanto para el control de la temperatura como de la HR.

CAPÍTULO 3

DESARROLLO DEL SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA Y HUMEDAD

III DESARROLLO DEL SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA Y HUMEDAD

3.1 DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL SISTEMA

Se implementará un modelo que permita una operación sencilla y económica, para ello bastará con un control de tipo ON-OFF, puesto que para este proyecto es admisible una variación amplia en los valores a controlar durante un periodo de tiempo relativamente largo, por lo que no será necesario el uso o implementación de modelos de control más avanzados.

El sistema propuesto es el siguiente:

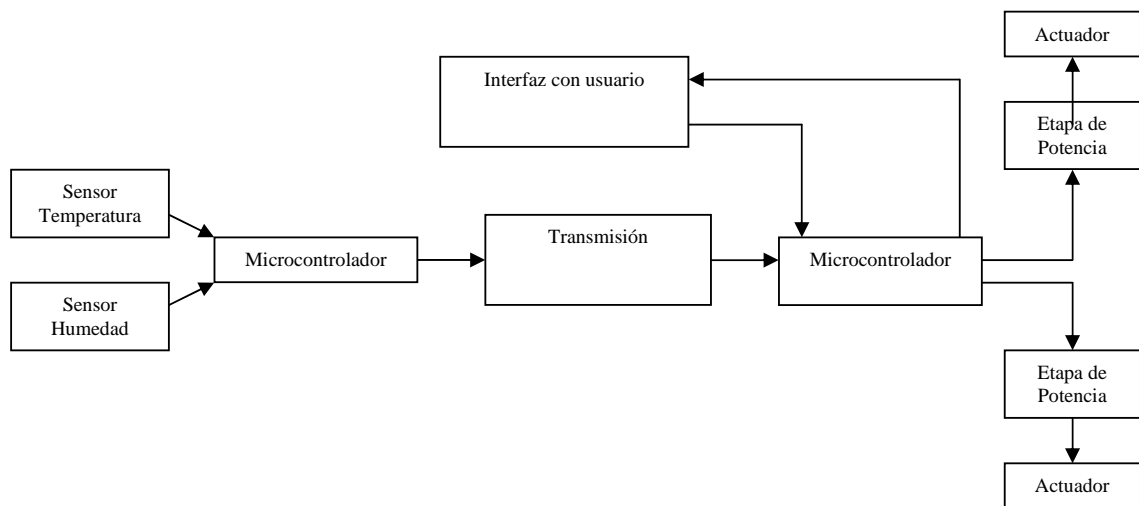


Figura 3.1.1 Control de Temperatura y Humedad para invernadero.

Ahora procederemos con la descripción detallada de cada una de las partes, a saber:

- 1) Sensores
- 2) Microcontroladores
- 3) Transmisión
- 4) Actuadores
- 5) Etapa de potencia
- 6) Interfaz con usuario

III.2 Selección de los sensores

En el mercado existen diferentes y variados tipos de sensores para los cuales evaluaremos de los existentes en el mercado las características técnicas, el precio y la disponibilidad en el mercado.

A menudo la temperatura se define como aquella propiedad que miden los termómetros. También se introduce la temperatura basándose en alguna propiedad termométrica, por ejemplo la expansión de un líquido, un gas, la resistencia de un conductor, la tensión eléctrica generada por un par termoeléctrico, etc. En la práctica existen numerosos tipos de sensores de temperatura o termómetros que, según la aplicación específica, pueden ser los más adecuados.

Los metales puros tienen un coeficiente de resistencia de temperatura positivo bastante constante. El coeficiente de resistencia de temperatura, generalmente llamado coeficiente de temperatura es la razón de cambio de resistencia al cambio de temperatura. Un coeficiente positivo significa que la resistencia aumenta a medida que aumenta la temperatura. Si el coeficiente es constante, significa que el factor de proporcionalidad entre la resistencia y la temperatura es constante y que la resistencia y la temperatura se graficarán en una línea recta.

Cuando se usa un alambre de metal puro para la medición de temperatura, se le refiere como *detector resistivo de temperatura*, o *RTD* (por las siglas en ingles de resistive temperature detector).

Cuando se usan óxidos metálicos para la medición de temperatura, el material de óxido metálicos conformado en forma que se asemejan a pequeños bulbos o pequeños capacitores. El dispositivo formado así se llama *Termistor*. El cambio de resistencia por unidad de cambio de temperatura es mucho mayor que para el metal puro, pero el cambio es en la otra dirección: la resistencia disminuye a medida que se aumenta la temperatura. El hecho de que el coeficiente no sea constante significa que el cambio en la resistencia por unidad de cambio de temperatura es diferente a diferentes temperaturas.

La no linealidad extrema de los termistores los hace poco apropiados para la medición de temperatura a través de rangos amplios. Sin embargo, para la medición de temperaturas dentro de bandas angostas. Están muy bien dotados pues dan una gran respuesta a un cambio de temperatura pequeño.

Como regla general, los termistores son preferibles cuando la banda de temperaturas esperada es angosta, mientras que los RTD son preferibles cuando la banda de temperatura esperada es amplia.

Es deseable conocer más las características de estos transductores para poder elegir un sensor con los criterios descritos. Vale la pena dar una pequeña introducción sobre éstos.

La medida de temperatura utilizando sondas de resistencia depende de las características de resistencia en función de la temperatura que son propias del elemento de detección.

El elemento consiste usualmente en un arrollamiento de hilo muy fino del conductor adecuado bobinado entre capas de material aislante y protegido con un revestimiento de vidrio o de cerámica.

El material que forma el conductor se caracteriza por el llamado "**coeficiente de temperatura de resistencia**" que expresa, a una temperatura especificada, la variación de la resistencia en ohmios del conductor por cada grado que cambia su temperatura.

La relación entre estos factores puede verse en la expresión lineal siguiente:

$$R_t = R_0 (1 + a t)$$

En la que:

R_0 = Resistencia en ohms a 0°C.

R_t = Resistencia en ohms t °C.

a = Coeficiente de temperatura de la resistencia.

Detectores de temperatura de resistencia

El detector de temperatura de resistencia (RTD) se basa en el principio según el cual la resistencia de todos los metales depende de la temperatura. La elección del platino en los RTD de la máxima calidad permite realizar medidas más exactas y estables hasta una temperatura de aproximadamente 500 °C. Los RTD más económicos utilizan níquel o aleaciones de níquel, pero no son tan estables ni lineales como los que emplean platino.

En cuanto a las desventajas, el platino encarece los RTD, y otro inconveniente es el autocalentamiento. Para medir la resistencia hay que aplicar una corriente, que, por supuesto, produce una cantidad de calor que distorsiona los resultados de la medida.

Una tercera desventaja, que afecta al uso de este dispositivo para medir la temperatura, es la resistencia de los RTD. Al ser tan baja, la resistencia de los hilos conductores que conectan el RTD puede provocar errores importantes. En la denominada técnica de dos hilos (Figura 3.2.1a), la resistencia se mide en los terminales del sistema de adquisición de datos, por lo que la resistencia de los hilos forma parte de la cantidad desconocida que se pretende medir. Por el contrario, la técnica de cuatro hilos (Figura 3.2.1b) mide la resistencia en los terminales del RTD, con lo cual la resistencia de los hilos queda eliminada de la medida. La contrapartida es que se necesita el doble de cables y el doble de canales de adquisición de datos.

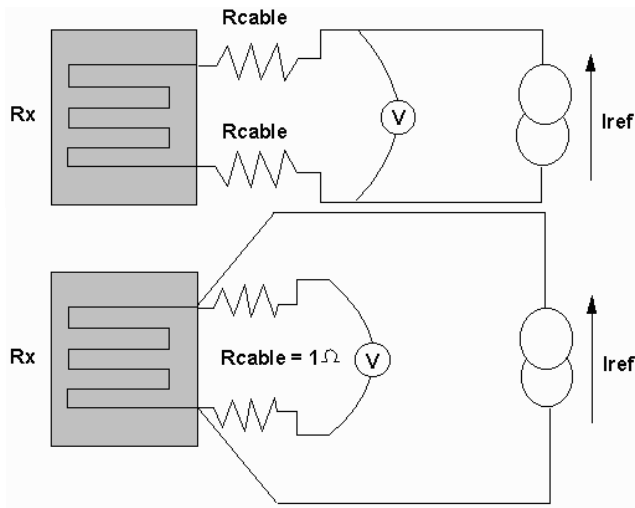


Figura 3.2.1a y 3.2.1b

Termistores

Los Termistores son semiconductores electrónicos con un coeficiente de temperatura de resistencia negativo de valor elevado y que presentan una curva característica lineal tensión-corriente siempre que la temperatura se mantenga constante.

La relación entre la resistencia y la temperatura viene dada por la expresión.

$$R_t = R_0 e^{\beta \left(\frac{1}{T_S} - \frac{1}{T_0} \right)}$$

En la que:

R_t= Resistencia en ohmios a la temperatura absoluta T_t.

R₀= Resistencia en ohmios a la temperatura absoluta de referencia T₀.

b = constante dentro de un intervalo moderado de temperaturas.

Hay que señalar que para obtener una buena estabilidad en los termistores es necesario envejecerlos adecuadamente.

Los termistores se conectan a *puentes de Wheatstone* convencionales o a otros circuitos de medida de resistencia. En intervalos amplios de temperatura, los termistores tienen características no lineales. Al tener un alto coeficiente de temperatura poseen una mayor sensibilidad que las sondas de resistencia estudiadas y permiten incluso intervalos de medida de 1°C (span). Son de pequeño tamaño y su tiempo de respuesta depende de la capacidad térmica y de la masa del termistor variando de fracciones de segundo a minutos.

La distancia entre el termistor y el instrumento de medida puede ser considerable siempre que el elemento posea una alta resistencia comparada con la de los cables de unión. La corriente que circula por el termistor a través del circuito de medida debe ser baja para garantizar que la variación de resistencia del elemento sea debida exclusivamente a los cambios de temperaturas del proceso.

Los termistores encuentran su *principal aplicación* en la compensación de temperatura, como temporizadores y como elementos sensibles en vacuómetros.

Los termistores, que son detectores resistivos fabricados normalmente de semiconductores cerámicos, ofrecen una impedancia mucho más alta que los RTD, por lo que la reducción de los errores provocados por los hilos conductores hace bastante factible el uso de la técnica de dos hilos, que es más sencilla. Su alto rendimiento (un gran cambio de resistencia con un pequeño cambio de temperatura) permite obtener medidas de alta resolución y reduce aún más el impacto de la resistencia de los hilos conductores. Por otra parte, la bajísima masa térmica del termistor minimiza la carga térmica en el dispositivo sometido a prueba.

No obstante, la baja masa térmica también plantea un inconveniente, que es la posibilidad de un mayor autocalentamiento a partir de la fuente de alimentación utilizada en la medida. Otro inconveniente del termistor es su falta de linealidad, que exige un algoritmo de linealización para obtener unos resultados aprovechables.

Sensores de IC

Los sensores de circuitos integrados resuelven el problema de la linealidad y ofrecen altos niveles de rendimiento. Son, además, relativamente económicos y bastante precisos a temperatura ambiente. Sin embargo, los sensores de IC no tienen tantas opciones de configuraciones del producto o de gama de temperaturas, y además son dispositivos activos, por lo que requieren una fuente de alimentación.

Los sensores de IC forman parte de la tendencia hacia los "sensores inteligentes", que son unos transductores cuya inteligencia incorporada facilita las actividades de reducción y análisis de datos que el usuario debe realizar normalmente en el sistema de adquisición de datos.

Termopares

Los termopares se utilizan extensamente, ya que ofrecen una gama de temperaturas mucho más amplia y una construcción más robusta que otros tipos. Además, no precisan alimentación de ningún tipo y su reducido precio los convierte en una opción muy atractiva para grandes sistemas de adquisición de datos. Sin embargo, para superar algunos de los inconvenientes inherentes a los termopares y obtener resultados de calidad, es importante entender la naturaleza de estos dispositivos.

Estudios realizados sobre el comportamiento de termopares han permitido establecer tres leyes fundamentales:

Ley del circuito homogéneo. En un conductor metálico homogéneo no puede sostenerse la circulación de una corriente eléctrica por la aplicación exclusiva de calor.

Ley de metales intermedios. Si en un circuito de varios conductores la temperatura es uniforme desde un punto de soldadura A a otro punto B, la suma algebraica de todas las fuerzas electromotrices es totalmente independiente de los conductores metálicos intermedios y es la misma que si se pusieran en contacto directo A y B.

Ley de las temperaturas sucesivas. La f.e.m. generada por un termopar con sus uniones a las temperaturas T_1 T_3 es la suma algebraica de la f.e.m. del termopar con sus uniones a T_1 T_2 de la f.e.m. del mismo termopar con sus uniones a las temperaturas T_2 T_3 .

El comportamiento de un termopar se basa en la teoría del gradiente, según la cual los propios hilos constituyen el sensor. La Figura 3.2.2a ilustra este concepto. Cuando se calienta uno de los extremos de un hilo, le produce una tensión que es una función de: (A) el gradiente de temperatura desde uno de los extremos del hilo al otro, y (B) el coeficiente de Seebeck, una constante de proporcionalidad que varía de un metal a otro.

Un termopar se compone sencillamente de dos hilos de diferentes metales unidos en un extremo y abiertos en el otro (Figura 3.2.2b). La tensión que pasa por el extremo abierto es una función tanto de la temperatura de la unión como de los metales utilizados en los dos hilos. Todos los pares de metales distintos presentan esta tensión, denominada tensión de Seebeck en honor a su descubridor, Thomas Seebeck.

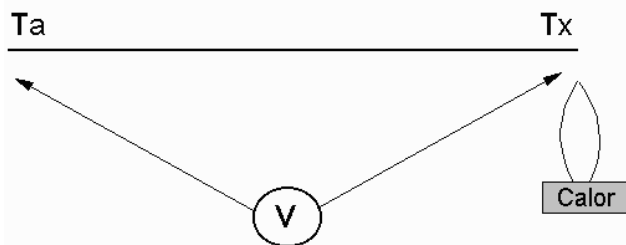


Figura 3.2.2a Principio de funcionamiento de un termopar.

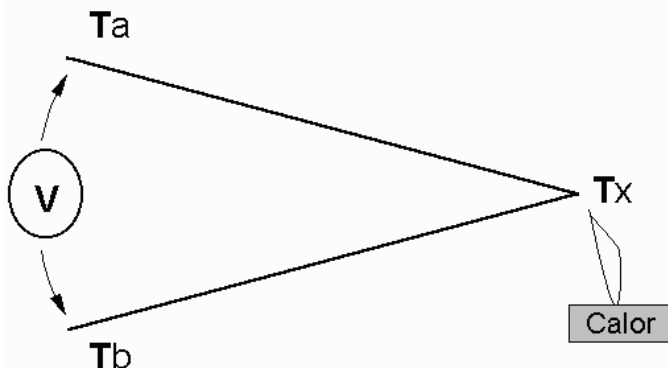


Figura 3.2.2b Ilustración de la tensión de Seebeck.

En pequeñas gamas de temperaturas, los coeficientes de Seebeck de los dos hilos son constantes y la tensión de Seebeck es, por consiguiente, proporcional, pero en gamas más grandes, el propio coeficiente de Seebeck es una función de la temperatura, convirtiendo la tensión de Seebeck en no lineal. Como consecuencia, las tensiones del termopar también tienden a ser no lineales.

Temperatura relativa frente a temperatura absoluta

Los RTD, termistores y sensores de IC miden todos ellos temperaturas absolutas, pero el termopar mide solamente temperaturas relativas, y el motivo resulta obvio cuando pensamos en la conexión de un termopar a un voltímetro o a un sistema de adquisición de datos. Supongamos que estamos utilizando un termopar Tipo J, que es el más normal y consiste en un hilo de hierro y otro de constantan (una aleación con un 45% de níquel y un 55% de cobre).

TIPOS DE TRANSDUCTORES:

En resumen tenemos:

Variación de resistencia en un conductor (sondas de resistencia).

Variación de resistencia de un semiconductor (termistores).

f.e.m. creada en la unión de dos metales distintos (termopares).

Intensidad de la radiación total emitida por el cuerpo (pirómetros de radiación).

Otros fenómenos utilizados en laboratorio (velocidad del sonido en un gas, frecuencia de resonancia de un cristal, etc.).

Ningún transductor es el mejor en todas las situaciones de medida, por lo que tenemos que saber cuándo debe utilizarse cada uno de ellos. Como podemos ver, en la siguiente Tabla se están comparando los cuatro tipos de transductores de temperatura más utilizados, y refleja los factores que deben tenerse en cuenta: las prestaciones, el alcance efectivo, el precio y la comodidad.

	RTD	Termistor	Sensor de IC	Termopar
Ventajas	-Más estable. -Más preciso. -Más lineal que los Termopares.	-Alto rendimiento -Rápido -Medida de dos hilos	-El más lineal -El de más alto rendimiento -Económico	-Autoalimentado -Robusto -Económico -Amplia variedad de formas físicas -Amplia gama de temperaturas
Desventajas	-Caro. -Lento. -Precisa fuente de alimentación. -Pequeño cambio de resistencia. -Medida de 4 hilos -Autocalentable	-No lineal. -Rango de temperaturas limitado. -Frágil. -Precisa fuente de alimentación. -Autocalentable	-Limitado a < 250 °C -Precisa fuente de alimentación -Lento -Autocalentable -Configuraciones limitadas	-No lineal -Baja tensión -Precisa referencia -El menos estable -El menos sensible

En nuestro caso utilizaremos el sensor LM35 por bajo costo y la amplia variación de temperatura que permiten los cultivos que será de tipo IC.

Transductores de Humedad

La humedad juega un rol muy importante en todos los procesos industriales. El solo hecho de que la atmósfera contiene humedad hace que, por lo menos, se estudie su efecto en el almacenamiento y operación de los distintos productos y dispositivos. El alcance que la influencia de la humedad podría tener en cualquier proceso industrial puede variar pero es esencial que al menos sea monitoreada, y en muchos casos controlada. Se puede decir que la humedad es una propiedad más difícil de definir y medir que sus parámetros asociados como pueden ser la presión y temperatura. La medición de la humedad es un proceso verdaderamente analítico en el cual el sensor debe estar en contacto con el ambiente de proceso a diferencia de los sensores de presión y temperatura que invariablemente se encuentran aislados del proceso por protecciones conductoras del calor o diafragmas respectivamente. Esto tiene, por supuesto, implicancias en la contaminación y degradación del sensor en niveles variables dependiendo de la naturaleza del ambiente.

En este trabajo vamos a revisar distintas tecnologías de sensores de humedad y sus típicas aplicaciones.

Vamos a poner énfasis en los sensores que miden el contenido de agua en los gases mencionando que hay otra familia de dispositivos basados en la absorción de microondas que se utilizan para determinar el nivel de humedad en los más diversos compuestos de uso industrial o alimentos como pueden ser: cereales, café, madera, pulpa de papel, adhesivos etc. Normalmente estos elementos cambian sus propiedades dieléctricas a medida que absorben el agua hecho que se toma como base para la aplicación de mediciones basadas en microondas.

Medición de la humedad relativa (RH)

La medición de la humedad relativa consiste en la relación entre la presión parcial del vapor de agua en el gas de que se trate y la presión de saturación del vapor, a una temperatura dada. Por lo tanto la humedad relativa es función de la temperatura. La medición es expresada como un porcentaje. La humedad relativa es un parámetro utilizado principalmente en aplicaciones ambientales (ej. acondicionamiento de aire) o mediciones meteorológicas ya que impacta directamente en el confort humano. Cuando los niveles de humedad relativa son bajos puede producirse electricidad estática que dañe al equipamiento electrónico.

Partes por millón (PPM)

Expresión del contenido de vapor de agua por fracción de volumen (PPMv) o, si es multiplicado por la relación entre el peso molecular del agua y el aire como PPMw.

Este parámetro es más difícil de conceptualizar porque está fuera del alcance del cuerpo humano detectar los cambios de esta magnitud en la atmósfera. Este término y los asociados como pueden ser: El término PPM u otros asociados como la relación de mezcla, el porcentaje de volumen y la humedad específica, se utilizan cuando el vapor de agua es una impureza o un componente definido en una mezcla de gases que participa de un proceso industrial.

DISTINTOS TIPOS DE SENSORES Y SUS APLICACIONES

No existe una tecnología de medición que sea apropiada para todas las aplicaciones. Algunas de las tecnologías típicamente usadas son:

Técnicas para la medición de humedad relativa

Las mediciones de humedad relativa puede ser hecha por sensores basados en: psicometría, desplazamiento, resistivos, capacitivos y por absorción de líquido. Algunos de los cuales describimos.

Psicometría por bulbo húmedo/bulbo seco

La psicometría desde hace tiempo es uno de los métodos más populares para el monitoreo de la humedad debido a su simplicidad e inherente bajo costo. Un psicómetro industrial típico consiste de un par de termómetros eléctricos acoplados, uno de los cuales opera en estado húmedo. Cuando el dispositivo funciona la evaporación del agua enfría el termómetro humedecido, resultando una diferencia medible con la temperatura ambiente o la temperatura del bulbo seco. Cuando el bulbo húmedo alcanza su máxima caída de temperatura la humedad puede determinarse comparando la temperatura de los dos termómetros en tablas.

El psicómetro provee una alta precisión en las proximidades del punto de saturación (100% RH) y es fácil de operar y reparar, por otra parte a baja humedad relativa (menos del 20%) el desempeño es pobre y el mantenimiento debe intensificarse. No puede utilizarse a temperaturas menores de 0° y, siendo el propio psicómetro una fuente de humedad, no puede utilizarse tampoco en ambientes pequeños o cerrados.

Los psicómetros son utilizados típicamente para control ambiental en recintos.

Sensores por desplazamiento

Es quizás el tipo de sensor más antiguo y de uso común, utiliza un mecanismo para medir la expansión o contracción de un cierto material que es proporcional a los cambios en el nivel de humedad relativa. Los materiales más comunes son el nylon y la celulosa. Las ventajas de este tipo de sensores son el bajo

costo de fabricación y es altamente inmune a la contaminación. Las desventajas son la tendencia a la descalibración en el tiempo y los efectos de histéresis significativos.

Sensor de bloque de polímero resistivo

Están compuestos de un sustrato cerámico aislante sobre el cual se deposita una grilla de electrodos. Estos electrodos se cubren con una sal sensible a la humedad embebida en una resina (polímero). La resina se recubre entonces con una capa protectora permeable al vapor de agua. A medida que la humedad se deposita en la capa de protección, el polímero resulta ionizado y estos iones se movilizan dentro de la resina. Cuando los electrodos son excitados por una corriente alterna, la impedancia del sensor se mide y es usada para calcular el porcentaje de humedad relativa.

Por su misma estructura este tipo de sensores son relativamente inmunes a la contaminación superficial ya que no afecta su precisión aunque si el tiempo de respuesta.

Debido a los valores extremadamente altos de resistencia del sensor a niveles de humedad menores que 20% es apropiado para los rangos altos de humedad.

Sensores capacitivos

Los sensores capacitivos (polímero orgánico capacitivo) son diseñados normalmente con platos paralelos con electrodos porosos o con filamentos entrelazados en el sustrato. El material dieléctrico absorbe o elimina vapor de agua del ambiente con los cambios del nivel de humedad. Los cambios resultantes en la constante dieléctrica causa una variación en el valor de la capacidad del dispositivo por lo que resulta una impedancia que varía con la humedad. Un cambio en la constante dieléctrica de aproximadamente el 30% corresponde a una variación de 0-100% en la humedad relativa.

El material sensor es muy delgado para alcanzar grandes cambios en la señal con la humedad. Esto permite al vapor de agua entrar y salir fácilmente y el secado rápido para la sencilla calibración del sensor.

Este tipo de sensor es especialmente apropiado para ambiente de alta temperatura porque el coeficiente de temperatura es bajo y el polímero dieléctrico puede soportar altas temperaturas. Los sensores capacitivos son también apropiados para aplicaciones que requieran un alto grado de sensibilidad a niveles bajos de humedad, donde proveen una respuesta relativamente rápida. A valores de humedad superiores al 85% sin embargo el sensor tiene una tendencia a saturar y se transforma en no lineal.

Efectos de la temperatura y la humedad

La salida de todos los sensores de humedad por absorción (capacitivos, resistivos, de film resistivo etc.), se ven afectados sensiblemente por la

temperatura y la humedad relativa. A causa de esto se utilizan mecanismos de compensación de temperatura en aplicaciones que demanden alto nivel de precisión o un amplio rango de temperaturas.

Cuando se compensa la temperatura de un sensor lo mejor es hacer la medición de temperatura tan cerca como sea posible de área activa del sensor, esto es en el mismo micro-ambiente. Esto es especialmente verdad cuando se combina la medición de RH y temperatura par derivar el punto de rocío. Los instrumentos de tipo industrial para medir humedad y punto de rocío incorporan una resistencia de platino (RTD) en la parte posterior del sustrato del sensor para la integridad de la compensación de la diferencia de temperaturas. Para estos sensores de alta temperatura no se proveen los circuitos electrónicos de acondicionamiento de señal.

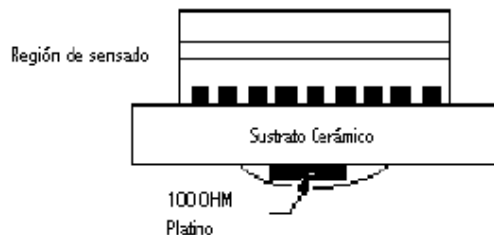


Figura 3.2.3 Resistencia de platino colocada en la parte posterior de un sensor capacitivo de humedad.

Las aplicaciones típicas para los polímeros resistivos y capacitivos son:

- HVAC administración de energía
- Control de salas de computadora/ambientes limpios
- Instrumentos portátiles
- Monitoreo ambiental y meteorológico

Humedad relativa calculada con el punto de rocío y la temperatura

Un transmisor óptico de punto de rocío con el agregado de medición de temperatura podría utilizarse para obtener un valor de humedad relativa de alta precisión. Este sería un costoso método para derivar un valor de una medición primaria.

Dispositivos usados para medición del punto de rocío/escarcha

Los sensores de sal saturada de cloruro de litio, óxido de aluminio y de espejo óptico enfriado son utilizados para la medición directa del D/F PT. Estos sensores proveen un amplio rango de medición en términos del punto de rocío o escarcha.

Sensor de sal saturada de cloruro de litio

El sensor de sal saturada de cloruro de litio ha sido uno de los sensores de punto de rocío más ampliamente usados. Su popularidad es resultado de su simplicidad, bajo costo, durabilidad, y el hecho de que provee una medición fundamental.

El sensor consiste de una bobina recubierta con una tela absorbente y un arrollamiento de electrodos bifilares inertes. La bobina es revestida con una solución diluida de cloruro de litio. Una corriente alterna se hace pasar por el arrollamiento y la solución salina causando calentamiento por efecto joule. A medida que la bobina eleva su temperatura el agua de la sal se evapora a una tasa que es controlada por la presión de vapor de agua en el aire circundante.

Cuando la bobina comienza a secarse, la resistencia de la solución salina se incrementa produciendo una disminución de la corriente que enfría la bobina. Este efecto de calentamiento y enfriamiento continúa hasta alcanzar un punto de equilibrio en el que no hay intercambio de agua con el ambiente. Esta temperatura de equilibrio es directamente proporcional a la presión de vapor de agua o el punto de rocío del aire circundante. Este valor es medido utilizando un termómetro de resistencia de platino (PRT).

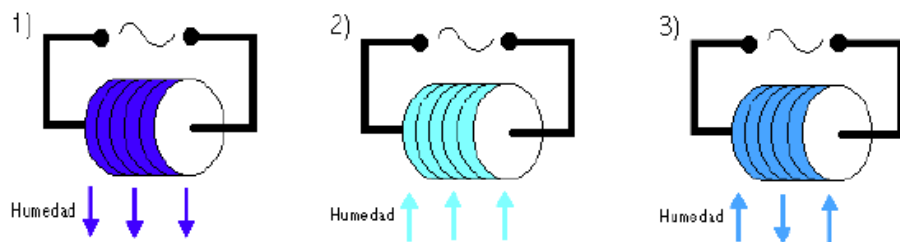


Figura 3.2.4 Sensor de sal saturada de cloruro de litio

Si el sensor de sal saturada se contamina puede fácilmente hacerse una recarga de cloruro de litio. Las limitaciones de esta tecnología son un relativamente bajo tiempo de repuesta y el límite inferior del rango de medición impuesto por la naturaleza del cloruro de litio. El sensor no puede usarse para medir puntos de rocío cuando la presión de vapor de agua cae por debajo de la presión de saturación de vapor del cloruro de litio que ocurre cerca del 11% de humedad relativa. Los sensores de sal saturada resultan atractivos cuando el bajo costo, la resistencia ambiental, el bajo tiempo de respuesta y la moderada precisión son requeridos.

Las aplicaciones típicas de estos sensores son:

- Controles de refrigeración
- Secadores
- Dehumificadores
- Monitoreo de líneas de suministro de aire
- Equipos envasadores de píldoras

Para aplicaciones que requieren una gran precisión y un amplio rango de mediciones se deben considerar sensores del tipo electrolítico de condensación y a base de óxidos.

Sensores de punto de rocío de óxido de aluminio

Los instrumentos de óxido de aluminio y sus derivados, tales como los sensores basados en cerámicos o silicio, son dispositivos que de forma indirecta infieren el valor del punto de rocío por la variación de su valor de capacidad que es afectada por la humedad ambiente.

Están disponibles en una variedad de tipos, desde sistemas de bajo costo portátiles operados a batería, hasta sistemas multi-punto basados en microprocesador con la capacidad de calcular la información de la humedad en diferentes parámetros.

Un sensor de óxido de aluminio típico es un capacitor, formado por la deposición de una capa de óxido de aluminio poroso sobre un sustrato conductor que se reviste con una delgada lámina de oro. La base conductora y la lámina de oro forman los electrodos del capacitor. El vapor de agua penetra la lámina de oro y es absorbida por el óxido poroso. La cantidad de moléculas de agua absorbidas determina la impedancia eléctrica del capacitor que a su vez resulta proporcional a la presión de vapor de agua.

Los sensores de óxido son de reducido tamaño. Son apropiados para medir bajos puntos de rocío (-100°C) y pueden operar sobre un amplio rango que abarca las aplicaciones de alta presión. Pueden utilizarse también para medir la humedad en líquidos y, debido al bajo consumo de potencia, son apropiados para instalaciones intrínsecamente seguras y a prueba de explosiones.

Los sensores a base de óxido se usan frecuentemente en la industria petroquímica y de generación de potencia donde los puntos de rocío bajos deben monitorearse en línea con arreglos de múltiples sensores económicos. La principal desventaja asociada con estos sensores es que son dispositivos de medición secundaria y deben ser recalibrados frecuentemente para corregir los efectos de envejecimiento, histéresis y contaminación.

Higrómetro óptico de condensación

El higrómetro óptico es considerado el método más preciso para la medición del punto de rocío. Esta es una medición primaria, que mide, como su nombre indica, el punto efectivo de condensación del gas ambiente y para el que se pueden con facilidad establecer estándares internacionales de calibración. El sensor contiene un pequeño espejo metálico cuya superficie es enfriada hasta que el agua de la muestra de gas condense. El espejo es iluminado por una fuente de luz y su reflexión es detectada por un fototransistor. Cuando la condensación ocurre la luz reflejada sufre una dispersión y por lo tanto disminuye la intensidad captada por el detector. Un sistema de control se encarga de mantener la temperatura de espejo en el punto necesario para

mantener una delgada capa de condensación. Un PRT embebido en el espejo mide su temperatura y por lo tanto la temperatura de punto de rocío.

Con el higrómetro óptico son posibles precisiones de $\pm 0.2^\circ$. Ciertos equipos especiales pueden tener un rango completo desde -85° hasta casi 100° de punto de rocío. Los tiempos de respuesta son rápidos y la operación está relativamente libre de problemas de pérdida de calibración.

Las aplicaciones típicas de los higrómetros ópticos de condensación son:

- Líneas de aire medicinal
 - Equipo electrónico refrigerado con líquido
 - Computadoras refrigeradas
 - Hornos de tratamiento térmico
 - Hornos de fundición
 - Control ambiental de recintos
 - Secadores
 - Estándares de calibración de humedad
- Higrómetro óptico cuando empieza la medición

Higrómetro electrolítico

El higrómetro electrolítico normalmente se utiliza para la medición de gases secos ya que provee un desempeño confiable para largos períodos en el rango de bajos valores de PPM. Los sensores electrolíticos típicamente requieren que el gas medido esté limpio y no debería reaccionar con la solución de ácido fosfórico, aunque desarrollos recientes en la tecnología de sensores de celda y los sistemas de acondicionamiento de muestras permiten aplicaciones más hostiles, como pueden ser la medición de humedad en cloruro.

Los sensores electrolíticos utilizan una celda revestida con una delgada capa de pentóxido fosforoso (P_2O_5), que absorbe agua del gas bajo medición.

Cuando una corriente eléctrica se aplica a los electrodos, el vapor de agua absorbido por el P_2O_5 se disocia en moléculas de hidrógeno y oxígeno. La cantidad de corriente requerida para disociar el agua es proporcional al número de moléculas de agua presentes en la muestra. Este valor junto con el caudal y la temperatura se usan para determinar la concentración de las partes por millón por volumen (PPMv) del vapor de agua. El sensor electrolítico se utiliza en aplicaciones secas de hasta un máximo de 1000 PPMv y es apropiado para el uso en procesos industriales tales como gases ultra-puros, química fina, y producción de circuitos integrados, etc.

Aplicaciones típicas de este sensor:

- Generadores de ozono
- Líneas de aire seco
- Sistemas de transferencia de nitrógeno
- Soldadura con gas inerte

En resumen, el higrómetro electrolítico suministra una medición primaria y confiable a bajos niveles de humedad, pero la precisión del dispositivo depende

del mantenimiento del un flujo de muestras controlado. Las aplicaciones deben seleccionarse cuidadosamente ya que ciertos gases podrían corroer y/o contaminar el sensor.

Sensor Piezo-resonante

El sensor piezo-resonante opera con el principio de equilibrio de RH donde la absorción de agua incrementa la masa de cristal lo que afecta directamente su frecuencia de resonancia.

El sensor tiene un revestimiento sensible a la humedad ubicado sobre la superficie del cristal resonante. La frecuencia de resonancia del cristal cambia a medida que el revestimiento sensible a la humedad absorba o elimine vapor de agua en respuesta a los cambios en los niveles de humedad ambiente. Esta frecuencia de resonancia es comparada con mediciones similares en el gas seco o a la frecuencia de referencia a la que ha sido calibrado.

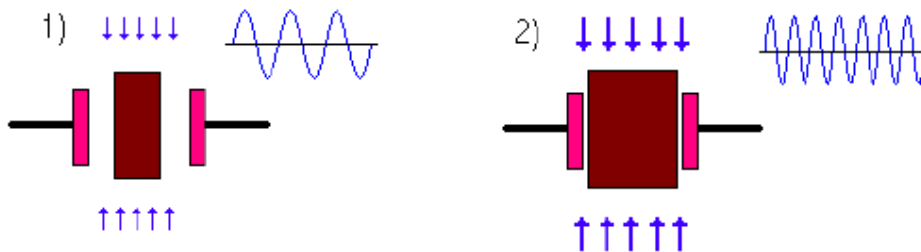


Figura 3.2.5 Sensor piezo-resonante de humedad relativa

En nuestro sistema. Implementamos un sensor de tipo piezo-resonante con una etapa electrónica que adecua el valor de la frecuencia asociada a la humedad relativa y entrega un voltaje de salida con un comportamiento prácticamente lineal en un rango amplio de medición.

El sensor seleccionado es el HTM 2500, que además de las características antes mencionadas tiene la ventaja de solo requerir un voltaje de polarización de 5 volts, lo que lo hace aún más adecuado para nuestro sistema, pues varios de los dispositivos utilizados son polarizados a esa tensión.

III.3 Selección de Microprocesadores

El microprocesador es uno de los logros más sobresalientes del siglo XX. Esas son palabras atrevidas, y hace un cuarto de siglo tal afirmación habría parecido absurda. Pero cada año, el microprocesador se acerca más al centro de nuestras vidas, forjándose un sitio en el núcleo de una máquina tras otra. Su presencia ha comenzado a cambiar la forma en que percibimos el mundo e incluso a nosotros mismos. Cada vez se hace más difícil pasar por alto el microprocesador como otro producto simple en una larga línea de innovaciones tecnológicas.

No obstante que reconocemos la penetración del microprocesador en nuestras vidas, ya estamos creciendo indiferentes a la presencia de esos miles de máquinas diminutas que nos encontramos sin saberlo todos los días. Así que, antes de que se integre de manera demasiado imperceptible en nuestra diaria existencia, es el momento de celebrar al microprocesador y la revolución que ha originado, para apreciar el milagro que es en realidad cada uno de esos chips de silicio diminutos y meditar acerca de su significado para nuestras vidas y las de nuestros descendientes.

El microprocesador es la parte de la computadora diseñada para llevar a cabo o ejecutar los programas. Este ejecuta instrucciones que se le dan a la computadora a muy bajo nivel haciendo operaciones lógicas simples, como sumar, restar, multiplicar y dividir. El microprocesador, o simplemente el micro, es el cerebro del ordenador. Es un chip, un tipo de componente electrónico en cuyo interior existen miles (o millones) de elementos llamados transistores, cuya combinación permite realizar el trabajo que tenga encomendado el microprocesador.

El microprocesador es un producto de la computadora en conjunto con la tecnología semiconductor, se eslabona desde la mitad de los años 50's; estas tecnologías se fusionaron a principios de los años 70's, produciendo el llamado microprocesador.

La computadora digital hace cálculos bajo el control de un programa. La manera general en que los cálculos se han hecho es llamada la arquitectura de la computadora digital. Así mismo la historia de circuitos de estado sólido nos ayuda también, porque el microprocesador es un circuito con transistores o microcircuito LSI (gran escala de integración), para ser más preciso.

La tecnología de circuitos electrónicos avanzó y los científicos hicieron grandes progresos en el diseño de dispositivos físicos de estado sólido. En 1948 en los laboratorios Bell crearon el transistor.

En los años 50's, aparecen las primeras computadoras digitales de propósito general. Éstas usaban tubos al vacío (bulbos) como componentes electrónicos activos. Tarjetas o módulos de tubos al vacío fueron usados para construir circuitos lógicos básicos tales como compuertas lógicas y flip-flops (Celda donde se almacena un bit). Ensamblando compuertas y flip-flops en módulos, los científicos construyeron la computadora (la lógica de control, circuitos de memoria, etc.).

El microprocesador tiene una arquitectura parecida a la computadora digital. En otras palabras, el microprocesador es como la computadora digital porque ambos realizan cálculos bajo un programa de control. Consiguientemente, la historia de la computadora digital nos ayudará a entender el microprocesador. El microprocesador hizo posible la manufactura de poderosas calculadoras y de muchos otros productos. El microprocesador utiliza el mismo tipo de lógica que es usado en la unidad procesadora central (CPU) de una computadora digital. El microprocesador es algunas veces llamado unidad microprocesadora (MPU). En otras palabras, el microprocesador es una unidad procesadora de datos.

En un microprocesador podemos diferenciar diversas partes:

1. El encapsulado: es lo que rodea a la oblea de silicio en si, para darle consistencia, impedir su deterioro (por ejemplo, por oxidación por el aire) y permitir el enlace con los conectores externos que lo acoplarán a su zócalo a su placa base.
2. La memoria caché: es una memoria ultrarrápida que emplea el micro para tener a mano ciertos datos que previsiblemente serán utilizados en las siguientes operaciones sin tener que acudir a la memoria RAM reduciendo el tiempo de espera. Por ejemplo: en una biblioteca, en lugar de estar buscando cierto libro a través de un banco de ficheros de papel se utiliza las computadoras, y gracias a la memoria caché, obtiene de manera rápida la información. Todos los micros compatibles con PC poseen la llamada cache interna de primer nivel o **L1**; es decir, la que está más cerca del micro, tanto que está encapsulada junto a él. Algunos micros posteriores (Pentium III Coppermine, Athlon Thunderbird, etc.) incluyen también en su interior otro nivel de caché, más grande aunque algo menos rápida, la caché de segundo nivel o **L2**.
3. Coprocesador Matemático: o correctamente la FPU (Unidad de punto flotante). Que es la parte del micro especializada en esa clase de cálculos matemáticos, antiguamente estaba en el exterior del micro en otro chip. Esta parte está considerada como una parte "lógica" junto con los registros, la unidad de control, memoria y bus de datos.
4. Los registros: son básicamente un tipo de memoria pequeña con fines especiales que el micro tiene disponible para algunos usos particulares. Hay varios grupos de registros en cada procesador. Un grupo de registros está diseñado para control del programador y hay otros que no son diseñados para ser controlados por el procesador pero que CPU los utiliza en algunas operaciones en total son treinta y dos registros.
5. La memoria: es el lugar donde el procesador encuentra sus instrucciones de programa y sus datos. Tanto los datos como las instrucciones están almacenados en memoria, y el procesador los toma de ahí. La memoria es una parte interna de la computadora y su función esencial es proporcionar un espacio de trabajo para el procesador.
6. Puertos: es la manera en que el procesador se comunica con el mundo externo. Un puerto es parecido a una línea de teléfono. Cualquier parte de la circuitería de la computadora con la cual el procesador necesita comunicarse, tiene asignado un número de puerto que el procesador

utiliza como un número telefónico para llamar al circuito o a partes especiales.

Existen características fundamentales que son esenciales para identificar un microprocesador, a parte del nombre que se le dan y marca o compañía por la que fue fabricada. Los cuales son:

- Su ancho de bus (medido en bits).
- La velocidad con que trabajan (medida en hertzios): existen dos tipo de velocidades de los micros, velocidad interna la velocidad a la que funciona el micro internamente (200, 333, 450... MHz); y velocidad externa o del bus o también "velocidad del FSB"; la velocidad a la que se comunican el micro y la placa base, para poder abaratar el precio de ésta.

Tipos de microprocesadores

INTEL

El 8051 es el primer microcontrolador de la familia introducida por Intel Corporation. La familia 8051 de microcontroladores son controladores de 8 bits capaces de direccionar hasta 64 kbytes de memoria de programa y una separada memoria de datos de 64 kbytes. El 8031 (la versión sin ROM interna del 8051, siendo esta la única diferencia) tiene 128 bytes de RAM interna (el 8032 tiene RAM interna de 256 bytes y un temporizador adicional). El 8031 tiene dos temporizadores/contadores, un puerto serie, cuatro puertos de entrada/salida paralelas de propósito general (P0, P1, P2 y P3) y una lógica de control de interrupción con cinco fuentes de interrupciones. Al lado de la RAM interna, el 8031 tiene varios Registros de Funciones especiales (SFR) (Special Function Registers) que son para control y registros de datos. Los SFRs también incluyen el registro acumulador, el registro B, y el registro de estado de programa (Program Status Word) (PSW), que contienen los Flags del CPU.

Bloques separados de memoria de código y de datos se denomina como la Arquitectura Harvard. El 8051 tiene dos señales de lectura separadas, los pines RD (P3.7, pin 17) y PSEN (pin 29). El primero es activado cuando un byte va ser leído desde memoria de datos externo; el otro, cuando un byte va ser leído desde memoria de programa externo. Ambas de estas señales son señales activas en nivel bajo. Todo código externo es buscado desde memoria de programa externo. Además, los bytes de memoria de programa externo pueden ser leídos por instrucciones de lectura especiales, tal como la instrucción MOVC. Hay también instrucciones separadas para leer desde memoria de datos externo, tal como la instrucción MOVX. Esto significa que las instrucciones determinan que bloque de memoria es direccionado, y la señal de control correspondiente. Un único bloque de memoria puede ser mapeado para actuar como memoria de datos y de programa. Esto es lo que se llama la arquitectura Von Neuman. Para leer desde el mismo bloque usando o la señal RD o la señal PSEN, las dos señales son combinadas con una operación AND lógico. La arquitectura Harvard es algo extraño en sistemas de evaluación,

donde el código de programa necesita ser cargado en memoria de programa. Adoptando la arquitectura Von Neuman, el código puede ser escrito a la memoria como bytes de datos y luego ejecutado como instrucciones de programa.

La ROM interna del 8051 y el 8052 no pueden ser programados por el usuario. El usuario debe suministrar el programa al fabricante, y el fabricante programa los microcontroladores durante la producción. Debido a costos, la opción de la ROM programado por el fabricante no es económica para producción de pequeñas cantidades. El 8751 y el 8752 son las versiones Erasable Programmable Read Only Memory (EPROM) del 8051 y el 8052. Estos pueden ser programados por los usuarios.

Durante la década pasada muchos fabricantes desarrollaron miembros mejorados del microcontrolador 8051. Las mejoras incluyen más memoria, más puertos, convertidores análogo-digital; más temporizadores, más fuentes de interrupción, watchdog timers, y subsistemas de comunicación en red. Todos los microcontroladores de la familia usan el mismo conjunto de instrucciones, el MCS-51. Las características mejoradas son programadas y controladas por SFRs adicionales.

SIEMENS

El Siemens SAB80C515 es un miembro mejorado de la familia 8051 de microcontroladores. El 80C515 es de tecnología CMOS que típicamente reduce los requerimientos de energía comparado a los dispositivos no-CMOS. Las características que tiene frente al 8051 son más puertos, un versátil convertidor análogo a digital, un optimizado Timer 2, un watchdog timer, y modos de ahorro de energía sofisticados. El 80C515 es completamente compatible con el 8051. Esto es, usa el mismo conjunto de instrucciones del lenguaje assembly MCS-51. Las nuevas facilidades del chip son controladas y monitoreadas a través de SFRs adicionales. El 80C515 tiene todas las SFRs del 8051, y de este modo puede correr cualquier programa escrito para el 8051 con la excepción del uso del registro prioridad de interrupción IP. Por tanto si un programa 8051 usa prioridades de interrupción, debe ser modificado antes de que se ejecute sobre el 80C515. El agobio de modificar código 8051 existente es fácilmente justificado por la disponibilidad de más fuentes de interrupción y prioridades del 80C515.

MOTOROLA

El 68hc11 de la familia Motorola, es un potente microcontrolador de 8 bits en su bus de datos, 16 bits en su bus de direcciones, con un conjunto de instrucciones que es similar a los más antiguos miembros de la familia 68xx (6801, 6805, 6809). Dependiendo del modelo, el 68hc11 tiene internamente los siguientes dispositivos: EEPROM o OTPROM, RAM, digital I/O, timers, A/D converter, generador PWM, y canales de comunicación síncrona y asíncrona (RS232 y SPI). La corriente típica que maneja es menor que 10ma.

El CPU tiene 2 acumuladores de 8 bits (A y B) que pueden ser concatenados para suministrar un acumulador doble de 16 bits(D). Dos registros índices de 16 bits estan presentes (X, Y) para suministrar indexamiento para cualquier lugar dentro del mapa de memoria. El tener dos registros índices significa que el 68hc11 es muy bueno para el procesamiento de datos. Aunque es un microcontrolador de 8 bits, el 68hc11 tiene algunas instrucciones de 16 bits (add, subtract, 16 * 16 divide, 8 * 8 multiply, shift, y rotates). Un puntero de pila de 16 bits está también presente, y las instrucciones son suministradas para manipulación de la pila. Típicamente el bus de datos y direcciones están multiplexados. El temporizador comprende de un único contador de 16 bits y hay un preescalador programable para bajarlo si es requerido. Viene con un convertidor A-D que es típicamente de 8 canales y 8 bits de resolución, aunque el G5 tiene un A/D de 10 bits. Viene con una Interfaz de comunicaciones serie (SCI) - comunicaciones serie asíncrona; formato de datos 1 bit start, 8 o 9 bits de datos, y un bit de parada. Velocidad en baudios desde 150 hasta 312500 (312500 es usando un reloj E de 4mhz). Tiene una Interfaz periférica serie (SPI) - comunicaciones serie síncrona.

MICROCHIP

Los microcontroladores PIC de Microchip Technology Inc. combinan una alta calidad, bajo coste y excelente rendimiento. Un gran número de estos microcontroladores son usados en una gran cantidad de aplicaciones tan comunes como periféricos del ordenador, sistemas de seguridad y aplicaciones en el sector de telecomunicaciones.

Tanto la familia del PIC16XX como la del PIC17XX están apoyadas por un rango de usuario de sistemas de desarrollo amistosos incluso programadores, emuladores y tablas de demostración. Así mismo ambas familias están apoyadas por una gran selección de software incluyendo ensambladores, ligadores, simuladores, etc...

PIC es una familia de microcontroladores de arquitectura Harvard hechos por Microchip Technology, derivado del PIC1640 originalmente desarrollado por General Instrument's división de Microelectrónica. El nombre PIC inicialmente se refiere a controlador de interfaz periférico, pero después fue llamado Computadora Inteligente programable.

Los viejos PICs con memoria PROM o EPROM se están renovando gradualmente por chips con memoria FLASH. Así mismo, el juego de instrucciones original de 12 bits del PIC1650 y sus descendientes directos ha sido suplantado por juegos de instrucciones de 14 y 16 bits. Microchip todavía vende versiones PROM y EPROM de la mayoría de los PICs para soporte de aplicaciones antiguas o grandes pedidos.

Los PICs actuales vienen con una amplia gama de mejoras hardware incorporadas:

- Núcleos de UCP de 8/16 bits con Arquitectura Harvard modificada
- Memoria Flash y ROM disponible desde 256 bytes a 256 kilobytes

- Puertos de E/S (típicamente 0 a 5,5 voltios)
- Temporizadores de 8/16 bits
- Tecnología Nanowatt para modos de control de energía
- Periféricos serie síncronos y asíncronos: USART, AUSART
- Conversores analógico-digital de 10-12 bits
- Comparadores de tensión
- Módulos de captura y comparación PWM
- Periférico MSSP para comunicaciones I²C
- Memoria EEPROM interna con duración de hasta un millón de ciclos de lectura/escritura
- Soporte de interfaz USB

Se pueden considerar tres grandes gamas de MCUs PIC en la actualidad: Los básicos (Line base), los de medio rango (Mid Range) y los de alto desempeño (high performance). Los PIC18 son considerados de alto desempeño y tienen entre sus miembros a PICs con módulos de comunicación y protocolos avanzados (USB, Ethernet, Zigbee por ejemplo).

En nuestro caso utilizamos el PIC 18F452, que es un microcontrolador muy potente para este tipo de aplicaciones y es de fácil reemplazo.

III.4 COMUNICACIÓN ENTRE LOS DISPOSITIVOS

Un sistema de comunicaciones está formado por 5 bloques básicos como se aprecia en la siguiente figura:

1. La fuente de mensaje. Un transductor que convierte sonidos, figuras, variables físicas, etc. en señales eléctricas.
 2. El codificador. Es un dispositivo eléctrico que "prepara" a la señal eléctrica para que pueda viajar por el canal de comunicación con el mínimo riesgo de sufrir daños.
 3. El canal de comunicación, que puede ser un conductor de cobre, una fibra óptica, una guía de ondas, la atmósfera o el espacio interplanetario.
 4. El decodificador. Es el dispositivo que reconstruye la señal, a fin de que sea lo más parecida posible a la original.
 5. El destinatario. El dispositivo que recibe la señal eléctrica y la convierte nuevamente en sonidos, imágenes, archivos, etc.
- En este diagrama simplificado, el canal de comunicación "permite" que la

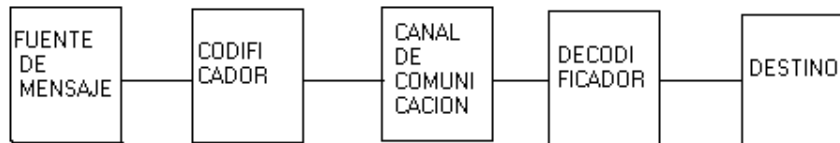


DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE COMUNICACIÓN

señal se vea influida por varios fenómenos:

1. Pérdidas. Que consisten en la conversión de la energía eléctrica en calor. A esto se le llama comúnmente "atenuación" y su efecto evidente en telefonía consiste en que casi no escuchamos la voz de la otra persona. Este efecto se compensa con amplificadores repartidos a lo largo del trayecto.
2. Distorsión lineal. Es la alteración de la forma de la señal, debido a que el canal de comunicación no tiene una respuesta a la frecuencia plana, de modo que opera generalmente como un filtro pasa bajas o paso banda, eliminando componentes espectrales importantes. Este efecto se compensa con ecualizadores de ganancia y de retardo.

3. Interferencias. Este fenómeno consiste en que se introducen al canal otras señales que también llevan información. El caso más conocido es cuando "se cruzan las llamadas telefónicas". Este fenómeno se reduce con adecuados blindajes de los canales de comunicación.
4. Ruido. Este consiste en que debido al calentamiento de los circuitos, se genera una señal totalmente aleatoria. Debido a esta causa, el ruido se produce literalmente en todos los componentes del sistema. En equipos telefónicos, el ruido eléctrico se asemeja al producido por la salida de agua en la regadera, al producido por el escape de vapor en la "olla express" o al emitido por la reproducción de una cinta magnética virgen. En televisión, el ruido se percibe como "nieve" o como imágenes grisáceas. Con señales analógicas, hay muy pocas técnicas de protección, tales como los blindajes electromagnéticos y los circuitos de bajo ruido. Con señales digitales, los efectos del ruido térmico pueden eliminarse casi completamente; sin embargo, el proceso de digitalización genera su propio ruido, llamado de cuantificación, que también puede minimizarse con procesos adecuados.
5. Intromisión. Consiste en que alguien no autorizado, se conecta al sistema y toma la señal para su provecho (ejemplo: los clones celulares). En comunicaciones analógicas, hay muy pocas técnicas de protección y ya todas son conocidas. En comunicaciones digitales, hay una gran diversidad de formas (códigos) para proteger a las señales, de modo que se puede evitar la intromisión.

En el mercado existe una gran gama de módulos inalámbricos, la elección de estos depende de las características técnicas, la utilidad, la disponibilidad en el mercado y su precio. Considerando las características físicas de nuestro invernadero, los módulos inalámbricos Xbee son de gran ayuda, debido a su facilidad de operarlos, los alcances a campo abierto que tiene y su bajo costo.

Algunas de sus características técnicas son:

Transmisión de potencia de salida de 1mW, con 250,000 baudios de radio frecuencia, voltaje suministrado de 2.8 a 3.4 V, corriente a 45mA

El diagrama siguiente puede esquematizar la forma sencilla de comunicación entre los dispositivos, de forma aislada.

Diagrama sistema de flujo de datos en un ambiente interfaz-UART

(Señales acertadamente bajas, distinguidas con una línea de nombre horizontal.)

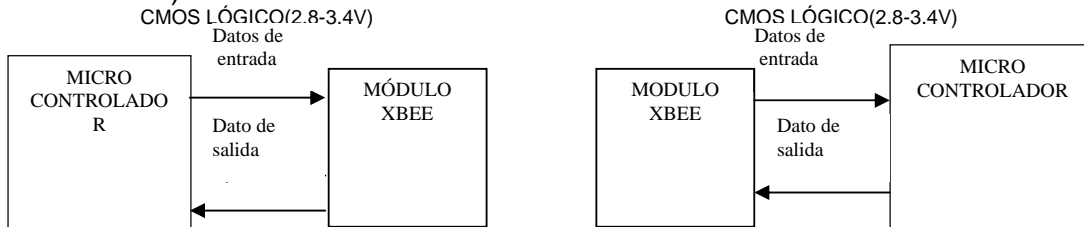


Figura 3.4.1 Diagrama sistema de flujo de datos en un ambiente interfaz-UART con radios XBEE

Considerando los altos costos del cableado utilizado en los invernaderos automatizados, una de las opciones más viable es utilizar sistemas inalámbricos que permiten comunicar los dispositivos sin necesidad de cables, por cuestiones de precio y una mejor optimización de los espacios dentro del invernadero.

3.5 SELECCIÓN DE ACTUADORES

La primera consideración para seleccionar los actuadores, es su capacidad de modificar la variable a controlar y en segundo término el tiempo que les tomará hacer esto.

Dado que la variable más importante a controlar es la temperatura, y algunas de las temperaturas medidas han sido hasta 7°C superiores a las aceptables, es decir unos 42°C y el actuador debe ser capaz de reducir la temperatura lo suficiente. La variable de humedad no es tan trascendente como la temperatura, pues su efecto en el cultivo es menor; sin embargo es necesario controlarla y mantenerla a un nivel inferior al 80% para favorecer el intercambio gaseoso en las hojas de las plantas, así como para evitar la aparición de hongos parásitos.

Temperatura:

Para controlar la temperatura podemos citar algunos actuadores utilizados con este fin pero con distintas características:

1) Ventilación Forzada:

Se pueden implementar ventiladores para movilizar el aire caliente interior, y reemplazarlo por el exterior, este procedimiento tiene como principal ventaja que favorece el intercambio gaseoso pues renueva la atmósfera interior del invernadero y evita que se sature de algún gas como el oxígeno, sin embargo este método para bajar la temperatura no es muy recomendable para climas demasiado cálidos, pues su capacidad de bajar la temperatura es limitada y energéticamente representa un costo moderado, pero no siempre necesario.

2) Sombreo:

Es probablemente uno de los métodos más empleado en la práctica, sin embargo no siempre tiene los resultados esperados, el objetivo es reducir la cantidad de radiación solar que penetra en el invernadero, al reducir la cantidad de radiación, también se reduce el desarrollo de la planta, en especial en cultivos como el jitomate. Es un método económico y sencillo pues solo se colocan mallas oscuras para evitar el paso de los rayos solares, sin embargo otro efecto negativo es que por su color oscuro estas mallas terminan por calentarse y no cumplen la función de bajar las temperaturas.

3) Nebulización de agua:

La nebulización de agua es un método menos popular que los dos anteriores, pero mucho más efectivo y más económico a largo plazo.

El objetivo de este procedimiento es evaporar agua y que en este proceso se absorba energía, las propias plantas hacen esta función y por ello un invernadero con plantas es más húmedo y fresco que uno vacío.

El tamaño de la gota es importante pues entre más pequeña sea ésta más fácilmente se evaporará y es menos probable que moje las plantas, lo que representa un riesgo sanitario para las mismas, pues ello favorece la aparición de hongos y la acumulación de sales en las hojas, considerando esto se recomienda usar gotas menores a 50 micras y para ello hay dos métodos de hacerlo.

a) Nebulización a alta presión:

En este método las tuberías llevan agua a presiones superiores a 70 Bares y deben ser de acero o de cobre. Hay dos tipos de difusores para este tipo de sistemas: los de cámara de turbulencia que dan un tamaño de gota del orden de 1 micra y los de aguja que consiguen gotas menores a 10 micras y es el más usado en invernaderos sofisticados.

Un inconveniente es que el agua debe ser de muy buena calidad y con un prefiltrado para evitar depósitos de sales u obstrucciones de los difusores, en la práctica por lo general se usa agua de lluvia en estos sistemas.

b) Nebulización a baja presión:

En estos sistemas las tuberías lleva agua a presiones menores a los 5 Bares y los difusores generan gotas de 20 a 100 micras, es un sistema mucho más barato y no tiene problemas de obstrucciones, pero es más probable que moje las plantas.

Estos sistemas son muy efectivos para reducir las temperaturas, sin embargo aumentan la cantidad de humedad en el invernadero y por ello es recomendable combinar este sistema con uno de control de humedad.

4) Ciclo refrigerante:

De todos los sistemas este es el menos usado, por su elevado costo y solo tiene aplicaciones experimentales.

De los esquemas anteriores, el más conveniente para este caso es el de nebulización de agua a baja presión, pues es el método económicamente más barato y con una muy buena respuesta.

El sistema estará constituido por las siguientes partes:

- I) Compresor hidroneumático de 25 litros y bomba de 0.5 Hp con succión y descarga de 1 pulgada

- II) Tubería hidráulica de PVC de 1 pulgada con capacidad de operar hasta a 1.1 MPa
- III) Válvula solenoide plástica para cementar de 1 pulgada con capacidad de operar hasta 10.4 Bares y solenoide de 24VCD, con un consumo de corriente aproximado de 450mA.
- IV) Nebulizador de baja presión y 4 salidas, con válvula anti-goteo con presión de disparo a 4 Bares y de cierre a 1.8 Bares.

En este sistema el actuador es la válvula solenoide seleccionada de entre una lista amplia, pero este modelo en particular tiene la gran ventaja de ser muy económica en comparación con otros modelos, sin afectar la operación del sistema, pues solo circulará agua por la misma.

El sistema está equipado con los implementos necesarios para mantener la presión en las tuberías entre 2 y 4 Bares lo que permite el funcionamiento adecuado de los nebulizadores.

Humedad:

Dependiendo de la hora del día las condiciones de humedad suelen ir cambiando, por citar un ejemplo, por las mañanas cuando las plantas comienzan a transpirar el contenido de agua en el aire del invernadero puede llegar incluso al punto de saturación, esto se puede solucionar con ventilación natural, al abrir una ventana el aire menos húmedo del exterior entra y reemplaza el aire húmedo del interior

La eficacia de la ventilación para controlar la humedad dependerá del estado del aire introducido, por lo que es posible que exista un sistema calefactor asociado, para reducir la cantidad de humedad del aire introducido, sin embargo este tipo de sistemas son muy costosos y consumen demasiada energía, por lo que no serán usados.

Partiendo de esto, seleccionamos un sistema de ventilación forzada formado por 8 ventiladores de 4 pulgadas con capacidad de desplazar hasta 5 metros cúbicos de aire por minuto y un consumo de corriente aproximado de 200mA, operando a 12VCD cada uno.

3.6 ETAPA DE POTENCIA

En nuestro sistema tenemos dos etapas de potencia, una que activa el funcionamiento del actuador de temperatura a partir de la señal del control central y otra que activa el funcionamiento del actuador de humedad.

Hay dos cosas a tomar en cuenta, primero se trata de un control de tipo ON-OFF y segundo las corrientes y voltajes a los que va a operar el actuador, así como en la salida del microcontrolador.

Partiendo de lo anterior veamos cuales son estas condiciones de Voltaje y Corriente:

- a) A la salida del microcontrolador PIC 18f452:
 - Corriente máxima: 25 mA
 - Voltaje de salida: 5 V

- b) Para activar la válvula solenoide:
 - Corriente de operación: 450mA
 - Voltaje de operación: 24 VCD

- c) Para activar el arreglo de ventiladores:
 - Corriente de operación: 200 mA, o 1600 mA por los 8 ventiladores
 - Voltaje de operación: 12 VCD

Se implementarán dos fuentes de poder, una de 24 VCD y otra de 12 VCD para ajustar los parámetros de voltaje y dado que se trata de control ON-OFF se usará un relevador cuya bobina opere a 5 V y tenga la capacidad de conducir 2 Amperes. El relevador seleccionado es un modelo TR5V cuya bobina tendrá un consumo de corriente de entre 60 y 80 mA, por lo que será necesario implementar un transistor entre la salida del microcontrolador que solo puede drenar hasta 25 mA y la bobina del relevador que demandará con este transistor en corte y saturación un aproximado de 60 mA, puesto que habrá una caída de voltaje en el transistor, en este caso un TIP 120, de modo que el sistema queda de acuerdo al siguiente esquema:

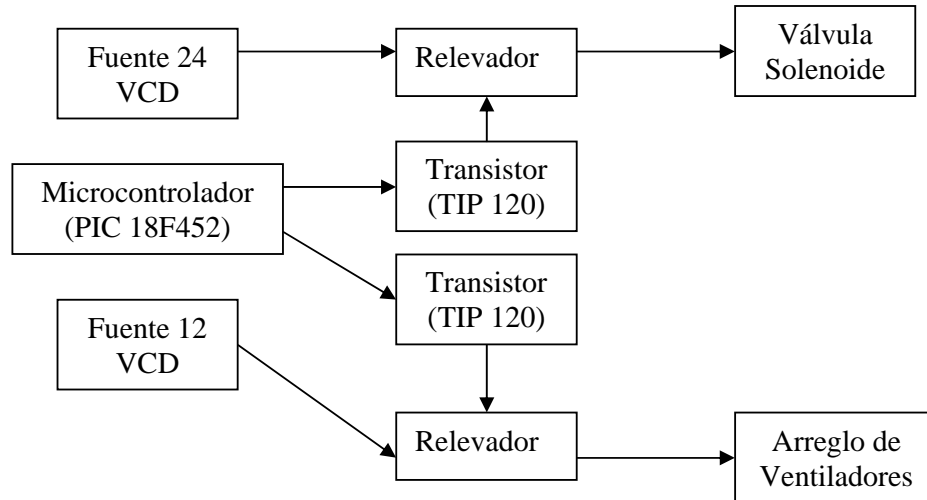


Figura 3.6.1 Etapa de potencia para control de temperatura y humedad.

3.7 INTERFAZ CON EL USUARIO

La interfaz con el usuario es el elemento del sistema que permitirá la comunicación, precisamente entre el usuario y el sistema, permitiendo al primero modificar los valores consigna, así como obtener los datos obtenidos por el sistema.

Con los requisitos anteriores, nuestras opciones estarán enfocadas a pantallas de cristal líquido, pues debido a la naturaleza de los datos, desplegarlos por medio de leds no sería la opción más sencilla ni la más amigable con el usuario. Dentro de las opciones para las pantallas de cristal líquido debemos decidir de acuerdo a la cantidad de datos desplegados en un momento.

Por otra parte se debe tener un teclado que ingrese los datos al sistema, este debe ser adecuado a las opciones que despliega el sistema.

En el mercado existen tanto teclados, como pantallas de cristal líquido, sin embargo también existen interfaces graficas programables, de las cuales podemos mencionar que aunque son más costosas que los dos elementos antes mencionados, pueden funcionar como ambos, y pueden desplegar los datos de una manera mucho mejor y más amplia; este tipo de interfaces conocidas como GUI (graphical user interface), que por definición mostrarán los datos en un lenguaje gráfico amigable, lo que hace mucho más fácil la operación del sistema por el usuario; La mayoría de los sistemas existentes cuentan con un ordenador que permite implementar este tipo de interfaces, por lo general poco amigable, de modo que se implementará una interfaz gráfica, pero buscado reducir las carencias mencionadas.

La interfaz elegida será una pantalla de cristal líquido sensible al tacto, fabricada por Amulet Technologies de 3.8 pulgadas, monocromática y con resolución de 320x240 píxeles y su comunicación es por puerto serie RS232.

La programación de la interfaz permitirá la visualización de cinco menús diferentes:

- 1) Menú principal
- 2) Control de temperatura
- 3) Control de Humedad
- 4) Ajuste de fecha y hora
- 5) Lectura y almacenamiento de datos

Menú Principal:

Es el primero que se muestra al encender la pantalla y contiene dos indicadores graduados que muestran el valor actual de temperatura y humedad relativa, en grados centígrados y porcentaje respectivamente, muestra también cuatro botones que conducen a los otros cuatro menús y dos botones más

pequeños que son de paro de emergencia y restablecimiento cuando se ha activado la condición de paro.

Menú Control de Temperatura:

Este menú muestra la temperatura actual en un cuadro de texto y muestra una imagen representativa de la relación que existe de ese valor de temperatura con el posible estado del cultivo, despliega también el valor consigna y los respectivos controles para ajustarlo, incluye los botones de paro de emergencia y disparo si la condición de paro fue activada y finalmente muestra un botón que despliega el menú principal

Menú Control de Humedad:

Es muy similar al de temperatura, pero en este caso la variable es la humedad, se muestra en un cuadro de texto el valor actual de humedad relativa, también muestra una imagen representativa del posible estado del cultivo en relación al valor de humedad actual, muestra el valor consigna y los controles para modificarlo, así como los botones de paro de emergencia menú principal y disparo.

Ajuste de fecha y hora:

Este menú únicamente muestra el valor de fecha y hora del reloj de tiempo real, y los controles pertinentes para ajustar estos valores, también muestra un botón de paro y uno de menú principal.

Lectura y almacenamiento de datos:

Este menú mostrará los datos almacenados de temperatura y humedad de cada hora almacenados en la memoria durante un mes, y mostrará también los controles para iniciar este proceso, así como para buscar un valor específico. Cuenta también con un botón de paro y uno de menú principal.

3.8 PROGRAMACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS

El sistema implementado, contiene varios elementos que deben comunicarse entre si aunque no necesariamente tengan el mismo protocolo de comunicación. Los dispositivos entonces deben ser programados para ajustar esta situación y que pueda existir la comunicación.

Los dispositivos programables son los siguientes:

- Interfaz Gráfica Amulet STK GT380

En el capítulo 3 sección 7 se mencionó la importancia de tener una comunicación con el usuario lo más amigable posible, de modo que una interfaz gráfica es una solución factible. La interfaz seleccionada es el modelo STK GT380 de Amulet Technologies, por su versatilidad y costo relativamente accesible.

Las características principales de este módulo son que se comunica a través de un puerto RS232 y tiene el siguiente protocolo de comunicación:

Baud Rate: 9600, 19200, 57600, or 115200bps

Parity: None

Data Bits: 8

Stop Bits: 1

Aunque por defecto está configurado para 115200bps, para homogenizar el sistema se usará la velocidad de 9600bps.

El módulo puede ser usado como maestro o como esclavo al interactuar con el microcontrolador principal, en tal caso se usaran comandos como los siguientes para solicitar datos o para enviarlos

- Solicitud "Get byte variable". (**Amulet:UART.byte(x).value()**)
- Solicitud "Get word variable". (word = 2 bytes)
(**Amulet:UART.word(x).value()**)
- Solicitud "Get string variable". (**Amulet:UART.string(x).value()**)
- Solicitud "Get label variable". (**Amulet:UART.label(x).value()**)
- Solicitud "Get byte variable array". (**Amulet:UART.bytes(x).value()**)
- Solicitud "Get word variable array". (**Amulet:UART.words(x).value()**)
- Comando "Set byte variable". (**Amulet:UART.byte(x).setValue(y)**)
- Comando "Set word variable". (**Amulet:UART.word(x).setValue(y)**)
- Comando "Set string variable". (**Amulet:UART.string(x).setValue(y)**)

Y los datos enviados deben tener el siguiente formato, recordando que el módulo Amulet solo desplegará caracteres ASCII válidos (0-9, a-f).

Message	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	Byte 5	Byte 6	Byte 7	Byte N
Amulet Get Byte Variable	0xD0	Variable Hi Nibble	Variable Lo Nibble	None	None	None	None	None
Server Response	0xE0	Variable Hi Nibble	Variable Lo Nibble	Value Hi Nibble	Value Lo Nibble	None	None	None
<hr/>								
Amulet Get Word Variable	0xD1	Variable Hi Nibble	Variable Lo Nibble	None	None	None	None	None
Server Response	0xE1	Variable Hi Nibble	Variable Lo Nibble	-----MS Byte----- Value Hi Value Hi Hi Nibble Lo Nibble		-----LS Byte----- Value Lo Value Lo Hi Nibble Lo Nibble		None
<hr/>								
Amulet Get String Variable	0xD2	Variable Hi Nibble	Variable Lo Nibble	None	None	None	None	None
Server Response	0xE2	Variable Hi Nibble	Variable Lo Nibble	ASCII char	ASCII char	ASCII char	ASCII	0x00 char
<hr/>								
Amulet Get Label Variable	0xD3	Variable Hi Nibble	Variable Lo Nibble	None	None	None	None	None
Server Response	0xE3	Variable Hi Nibble	Variable Lo Nibble	ASCII char	ASCII char	ASCII char	ASCII	0x00 char
<hr/>								
Amulet Get Remote Procedure Calls (RPC)	0xD4**	RPC flag Hi Nibble	RPC flag Lo Nibble	None	None	None	None	None
Server Response	0xE4	RPC flag Hi Nibble	RPC flag Lo Nibble	RPC #1 Hi Nibble	RPC #1 Lo Nibble	RPC #2 Hi Nibble	RPC #2	0x00 Lo Nibble
<hr/>								
Amulet Set Byte Variable	0xD5	Variable Hi Nibble	Variable Lo Nibble	Value Hi Nibble	Value Lo Nibble	None	None	None
Server Response	0xE5	Variable Hi Nibble	Variable Lo Nibble	Value Hi Nibble	Value Lo Nibble	None	None	None
<hr/>								
Amulet Set Word Variable	0xD6	Variable Hi Nibble	Variable Lo Nibble	-----MS Byte----- Value Hi Value Hi Hi Nibble Lo Nibble		-----LS Byte----- Value Lo Value Lo Hi Nibble Lo Nibble		None
Server Response	0xE6	Variable Hi Nibble	Variable Lo Nibble	-----MS Byte----- Value Hi Value Hi Hi Nibble Lo Nibble		-----LS Byte----- Value Lo Value Lo Hi Nibble Lo Nibble		None
<hr/>								
Amulet Set String Variable	0xD7	Variable Hi Nibble	Variable Lo Nibble	ASCII char	ASCII char	ASCII char	ASCII	0x00 char
Server Response	0xE7	Variable Hi Nibble	Variable Lo Nibble	ASCII char	ASCII char	ASCII char	ASCII	0x00 char
<hr/>								

Amulet Invoke Remote Procedure Call (RPC)	0xD8	RPC Hi Nibble	RPC Lo Nibble	None	None	None	None	None
Server Response	0xE8	RPC Hi Nibble	RPC Lo Nibble	None	None	None	None	None
Amulet Get Byte Variable Array	0xDD	Variable Hi Nibble	Variable Lo Nibble	None	None	None	None	None
Server Response	0xED	Variable Hi Nibble	Variable Lo Nibble	Value Hi Nibble	Value 0x00 Lo Nibble	None	None	None
Amulet Set Word Variable Array	0xDE	Variable Hi Nibble	Variable Lo Nibble	None	None	None	None	None
Server Response	0xEE	Variable Hi Nibble	Variable Lo Nibble	----MS Byte---- Value Hi Hi Nibble	Value Hi Lo Nibble	----LS Byte---- Value Lo Hi Nibble	Value Lo 0x00 Lo Nibble	None
Amulet Set Byte Variable Array	0xDF**	Variable Hi Nibble	Variable Lo Nibble	Value Hi Nibble	Value 0x00 Lo Nibble	None	None	None
Server Response	0xEF	Variable Hi Nibble	Variable Lo Nibble	Array Cnt Hi Nibble	Array Cnt Lo Nibble	None	None	None
Amulet Set Word Variable Array	0xF2**	Variable Hi Nibble	Variable Lo Nibble	----MS Byte---- Value Hi Hi Nibble	Value Hi Lo Nibble	----LS Byte---- Value Lo Hi Nibble	Value Lo 0x00 Lo Nibble	None
Server Response	0xF3	Variable Hi Nibble	Variable Lo Nibble	Array Cnt Hi Nibble	Array Cnt Lo Nibble	None	None	None

- Reloj de tiempo real DS1307

Es importante almacenar los datos de temperatura y humedad dentro del invernadero, para así poder establecer comparaciones y evaluar el comportamiento climático. Los datos de temperatura y humedad por tanto deben estar asociados a una fecha y una hora.

Con el propósito de tener una lectura adecuada de estos dos últimos datos (fecha y hora) podemos incluir en nuestro sistema un dispositivo que efectúe dicho procedimiento, uno de los más populares el DS1307.

El DS1307 es un reloj de tiempo real fabricado por Dallas Semiconductor que puede indicar la hora (horas, minutos, segundos) y fecha (día de la semana, día del mes, mes y año) en formato BCD, de bajo consumo de energía y de comunicación serial síncrona bajo el protocolo I2C que se ve más claramente en el siguiente diagrama

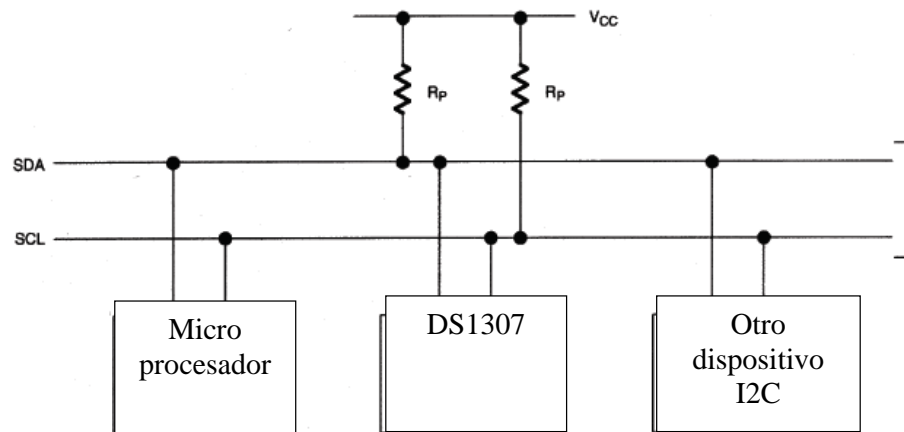


Figura 3.8.1 Ejemplo de implementación de dispositivos I2C.

Las resistencias R_p son resistencias de pull-up.

Y el protocolo de comunicaciones es el siguiente:

El bus esta libre cuando SDA y SCL están en estado lógico alto.

En estado bus libre, cualquier dispositivo puede ocupar el bus I2C como maestro.

El maestro comienza la comunicación enviando un patrón llamado "start condition". Esto alerta a los dispositivos esclavos, poniéndolos a la espera de una transacción.

El maestro se dirige al dispositivo con el que quiere hablar, enviando un byte que contiene los siete bits (A7-A1) que componen la dirección del dispositivo esclavo con el que se quiere comunicar, y el octavo bit (A0) de menor peso se corresponde con la operación deseada (L/E), lectura=1 (recibir del esclavo) y escritura=0 (enviar al esclavo).

La dirección enviada es comparada por cada esclavo del bus con su propia dirección, si ambas coinciden, el esclavo se considera direccionado como esclavo-transmisor o esclavo-receptor dependiendo del bit R/W.

El esclavo responde enviando un bit de ACK que le indica al dispositivo maestro que el esclavo reconoce la solicitud y está en condiciones de comunicarse.

Seguidamente comienza el intercambio de información entre los dispositivos.

El maestro envía la dirección del registro interno del dispositivo que se desea leer o escribir.

El esclavo responde con otro bit de ACK

Ahora el maestro puede empezar a leer o escribir bytes de datos. Todos los bytes de datos deben constar de 8 bits, el número máximo de bytes que pueden ser enviados en una transmisión no está restringido, siendo el esclavo quien fija esta cantidad de acuerdo a sus características.

Cada byte leído/escrito por el maestro debe ser obligatoriamente reconocido por un bit de ACK por el dispositivo maestro/esclavo.

Se repiten los 2 pasos anteriores hasta finalizar la comunicación entre maestro y esclavo.

Aun cuando el maestro siempre controla el estado de la línea del reloj, un esclavo de baja velocidad o que deba detener la transferencia de datos mientras efectúa otra función, puede forzar la línea SCL a nivel bajo. Esto hace que el maestro entre en un estado de espera, durante el cual, no transmite información esperando a que el esclavo está listo para continuar la transferencia en el punto donde había sido detenida.

Cuando la comunicación finaliza, el maestro transmite una "stop condition" para dejar libre el bus.

En el caso del DS1307, su número de direccionamiento es 1101000, y al finalizar una transmisión debe recibir un NO ACK seguida de una "stop condition".

- Memoria EEPROM AT26C64

En este dispositivo podremos almacenar los datos de temperatura y humedad relativa asociados a la fecha y hora correspondientes.

La AT26C64 es una memoria EEPROM capaz de almacenar 8192 localidades de 8 bits cada una, su comunicación es también síncrona por un protocolo I2C, tal y como se describe en el DS1307, pero con la ventaja de poder configurar los últimos 3 dígitos del número de direccionamiento por medio de 3 pines (A0-A2), para este trabajo los tres pines tendrán valor de cero, de modo que el número de direccionamiento de la memoria es 1010000

- Microcontrolador de sensores PIC 18f452

El programa en C de este dispositivo permite que se puedan obtener los datos a partir de dos canales del convertidor analógico digital, posteriormente ser almacenados en memoria RAM y convertidos al formato ASCII que utiliza el módulo Amulet antes de ser transmitidos por puerto serie asíncrono RS232.

- Microcontrolador principal PIC 18F452

Este microcontrolador de 8 bits puede ser programado en lenguaje C entre otras opciones, aunque el uso del lenguaje C reduce la cantidad de código a escribir por lo que será el lenguaje en el que se desarrollara el software para este dispositivo.

Este elemento es el que deberá concentrar toda la información y permitir que se direcciona a cada dispositivo de manera correcta.

Ahora describiremos el programa en C que incluyen los dispositivos:

3.8.1 Programa en C para microcontroladores

El primer programa mostrado es el que contiene el microcontrolador del módulo de sensores, por lo que se activaran dos canales del convertidor analógico digital.

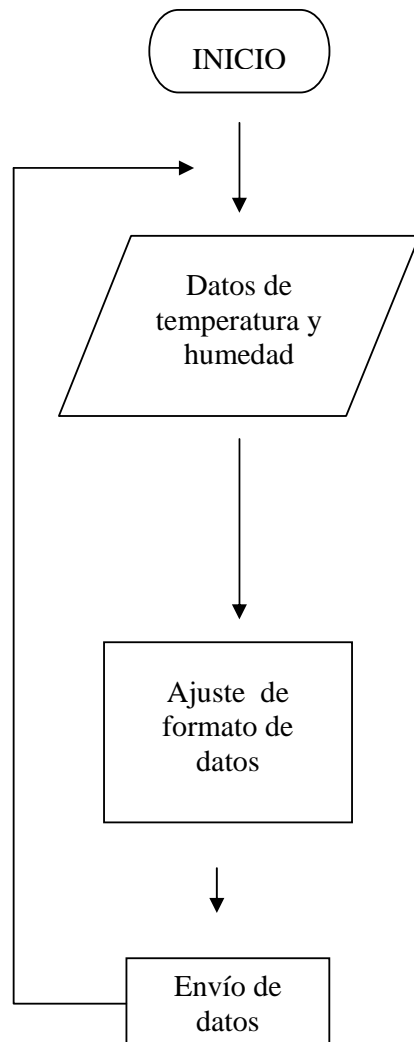


Figura3.8.2Diagrama de flujo para adquisición de datos en módulo de sensores.

Ahora se presenta el programa que contiene el controlador principal del sistema.

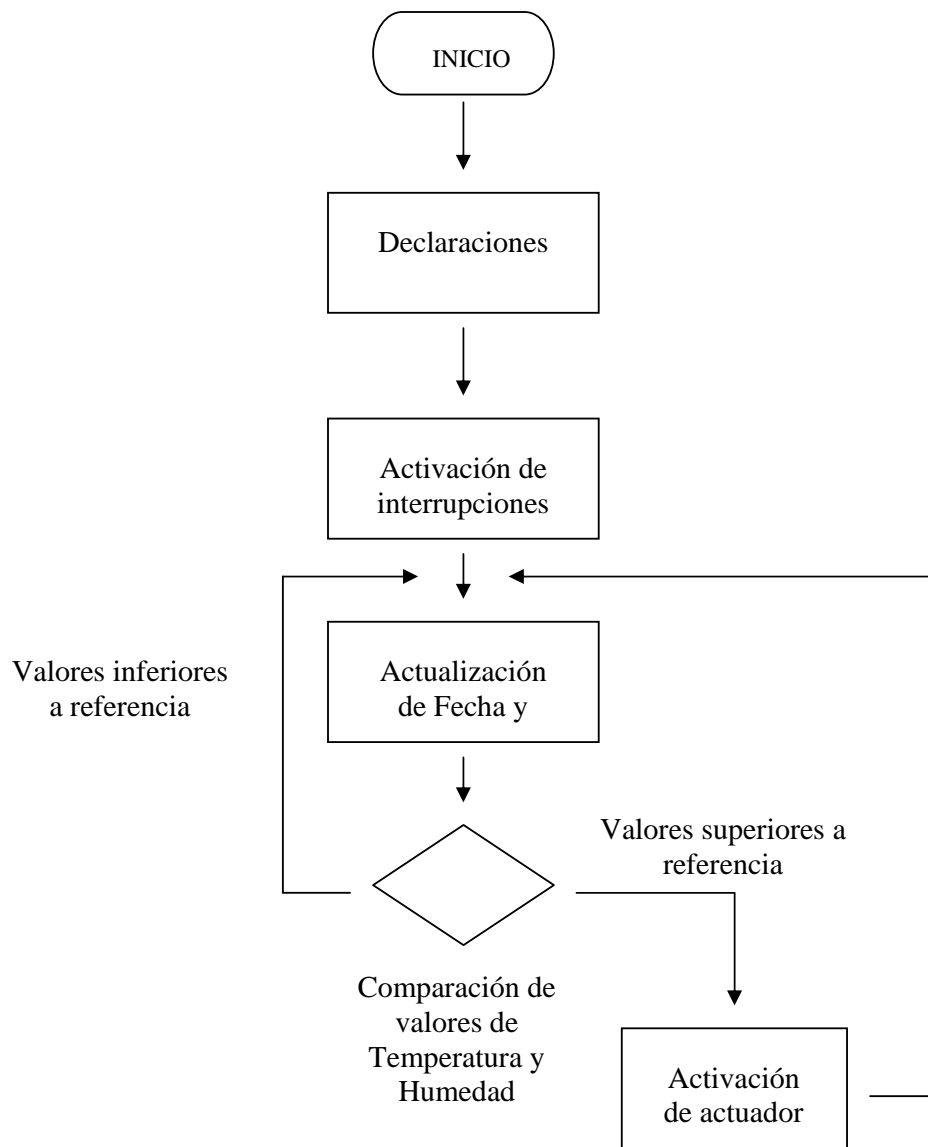


Figura 3.8.3a Diagrama de flujo para microcontrolador principal.

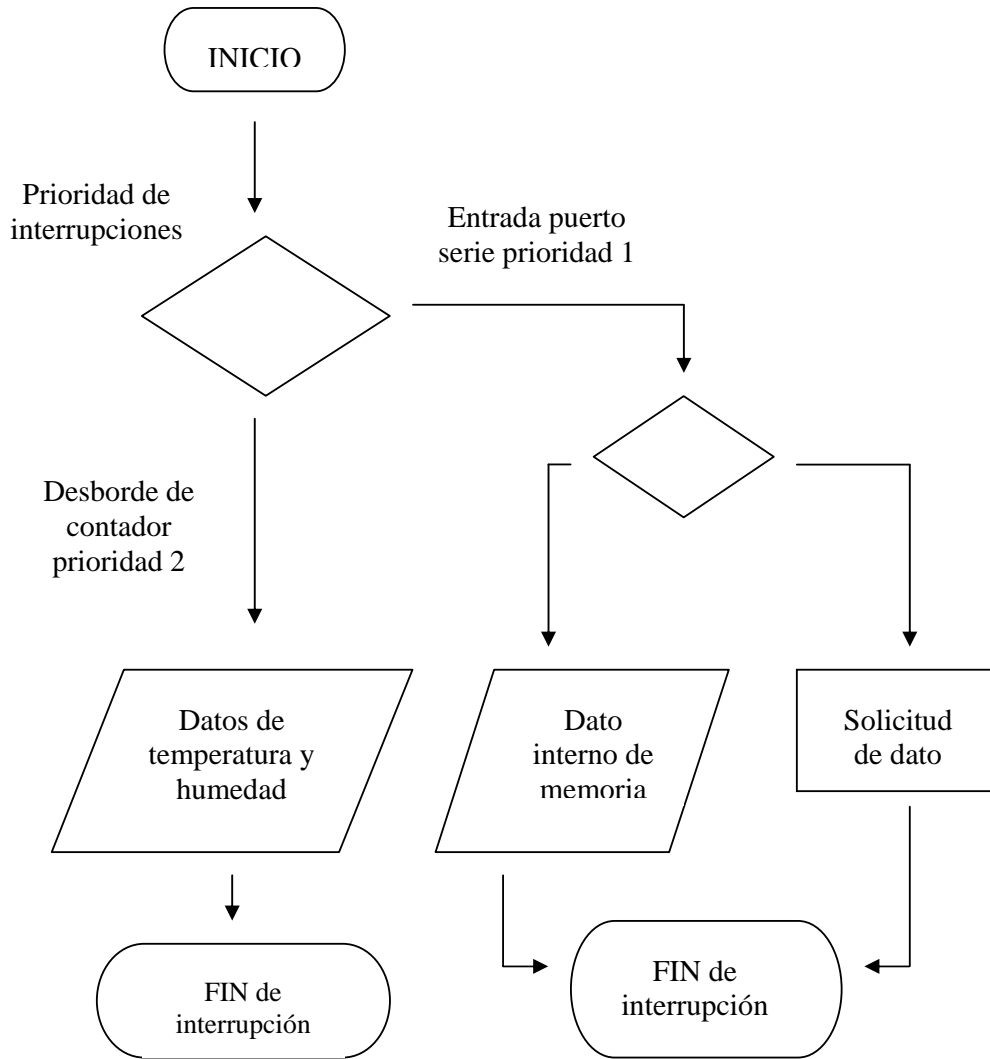


Figura 3.8.3b Diagrama de flujo para microcontrolador Principal, descripción de interrupciones.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

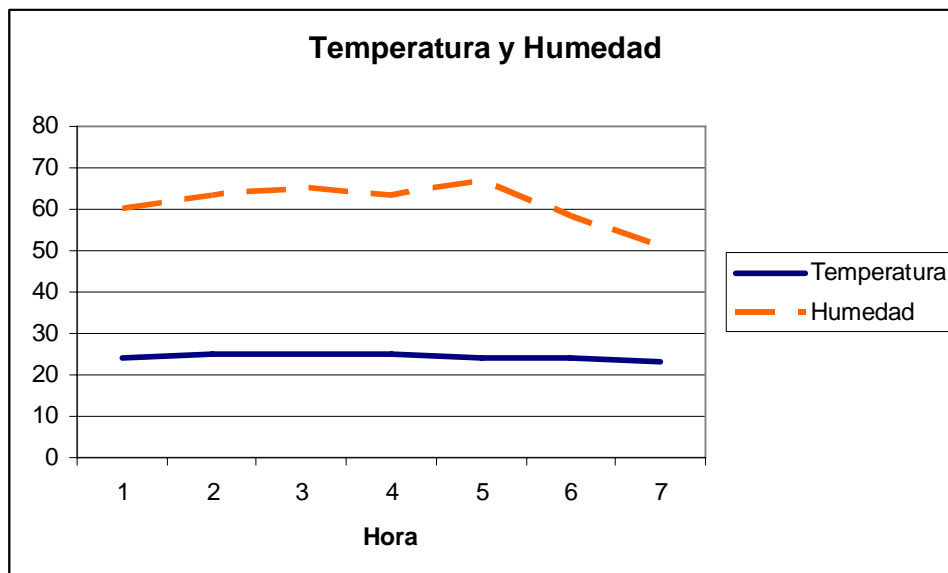
IV RESULTADOS

IV.1 MÁRGENES DE OPERACIÓN CON EL SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA Y HUMEDAD

El sistema completo se colocó en el invernadero y mantuvo su operación durante varios días, en los cuales se recabó información de la temperatura y la humedad dentro de dicho invernadero, encontrando un comportamiento prácticamente igual cada día.

En la siguiente tabla se muestra un ejemplo de los datos recabados en un día y su gráfica correspondiente.

FECHA	HORA	TEMPERATURA	HUMEDAD
17-Ene-09	13	24	60
17-Ene-09	14	25	63
17-Ene-09	15	25	65
17-Ene-09	16	25	63
17-Ene-09	17	24	67
17-Ene-09	18	24	58
17-Ene-09	19	23	51



Una vez instalado el sistema de control, la temperatura fue controlada en el nivel establecido por el operador, a saber 25°C, prácticamente todo el periodo requerido durante el día, mientras que la humedad relativa fue establecida en un valor consigna de 65%, el cual fue excedido en algunas ocasiones, debido a la cantidad de agua nebulizada para mantener la temperatura adecuada, al final del día la temperatura descendió por la disminución natural de la radiación solar, lo que resultó en un menor número de operaciones de nebulización y por

tanto los niveles de humedad relativa también descendieron, aproximándose a los valores registrados en el capítulo dos de esta tesis.

IV.2 COSTO DEL SISTEMA

El costo del sistema nos permitirá comparar este con otros sistemas existentes y evaluar su competitividad. A continuación se muestra la lista de componentes utilizados, así como otros materiales empleados para la instalación del control de temperatura y humedad.

COSTO DE COMPONENTES

NO.	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
			\$	\$
1	COMPRESOR HIDRONEHUMATICO	1	1,500.00	1,500.00
			\$	\$
2	VÁLVULA SOLENOIDE PLÁSTICA 1 PULGADA	1	480.00	480.00
			\$	\$
3	TRAMO TUBERÍA PVC HIDRÁULICA DE 1 PULGADA	5	43.00	215.00
			\$	\$
4	CODOS, COPLES Y CONECTORES HIDRÁULICOS DE PVC	15	7.00	105.00
			\$	\$
5	NEBULIZADOR NETAFIM 2-4 BAR	1	47.00	47.00
			\$	\$
6	VENTILADOR 4 PULGADAS 12 VOLTS	8	28.00	224.00
			\$	\$
7	RADIO XBEE	2	260.00	520.00
			\$	\$
8	MÓDULO AMULET STK PANTALLA LCD	1	4,200.00	4,200.00
			\$	\$
9	SENSOR HUMEDAD HTM2500	1	920.00	920.00
			\$	\$
10	SENSOR DE TEMPERATURA LM35	1	35.00	35.00
			\$	\$
11	MICROCONTROLADOR PIC 18F452	2	120.00	240.00
			\$	\$
12	RELOJ TIEMPO REAL DS1307	1	20.00	20.00
			\$	\$
13	MEMORIA EEPROM SERIES 26C64	1	20.00	20.00
			\$	\$
14	INTERFAZ MAX 232	2	15.00	30.00
			\$	\$
15	AMPLIFICADOR OPERACIONAL CA3140E	1	12.00	12.00
			\$	\$
16	CRISTAL DE CUARZO	3	55.00	165.00
			\$	\$
17	REGULADOR DE VOLTAJE 7805	2	5.00	10.00
			\$	\$
18	REGULADOR DE VOLTAJE 7905	1	5.00	5.00
			\$	\$
19	REGULADOR DE VOLTAJE 7812	1	5.00	5.00

		\$	\$
20	REGULADOR DE VOLTAJE 7824	1 5.00	5.00
		\$	\$
21	REGULADOR DE VOLTAJE LM317	2 10.00	20.00
		\$	\$
22	PUENTE RECTIFICADOR 1 AMP	4 7.00	28.00
		\$	\$
23	DISIPADOR DE CALOR PARA EMPAQUETADO TO-220	7 25.00	175.00
		\$	\$
24	PAQUETE DE GABINETES PLÁSTICOS	1 250.00	250.00
		\$	\$
25	RESISTOR 1/4 WATT	10 0.50	5.00
		\$	\$
26	CAPACITOR CERÁMICO	9 3.00	27.00
		\$	\$
27	CAPACITOR ELECTROLÍTICO 16V	10 3.00	30.00
		\$	\$
28	CAPACITOR ELECTROLÍTICO 50V	2 15.00	30.00
		\$	\$
29	BARRA HEADER	7 5.00	35.00
		\$	\$
30	TRANSISTOR TIP 120	2 7.00	14.00
		\$	\$
31	RELEVADOR TR5V 2 AMP	4 30.00	120.00
		\$	\$
32	BASE CERO ESFUERZO DIP 40	2 55.00	110.00
		\$	\$
33	BASE DIP 8	3 5.00	15.00
		\$	\$
34	BASE DIP 16	2 5.00	10.00
		\$	\$
35	INTERRUPTOR	2 15.00	30.00
		\$	\$
36	ENTRADA CLAVIJA	2 15.00	30.00
		\$	\$
37	CONTACTO POLARIZADO	2 15.00	30.00
		\$	\$
38	LED	6 5.00	30.00
		\$	\$
39	CONECTOR DB9	3 2.00	6.00
			\$
	TOTAL		9,753.00

Esta es una tabla que muestra el costo del sistema utilizando materiales y precios que pueden cambiar con el tiempo, de modo que es útil únicamente para establecer comparaciones.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

V Conclusiones

Los resultados obtenidos fueron satisfactorios, incluso los valores tan elevados de humedad, pues de acuerdo a lo establecido para el cultivo del jitomate tanto la temperatura como la humedad mostradas son valores aceptables.

En contraste si no se colocara este dispositivo de control de temperatura y humedad observamos en el capítulo dos que se tenían lecturas de temperatura muy elevadas que son dañinas para el cultivo, de modo que aunque en un momento la transpiración propia de las plantas ayude a reducir el tiempo de operación del control de temperatura y humedad, en las primeras semanas de desarrollo de las plantas es muy riesgoso que estas sean expuestas a temperaturas tan elevadas, por otra parte las temperaturas nunca son lo suficientemente bajas como para representar un problema.

El principal problema que se puede presentar es el sobrecalentamiento de los módulos tanto de sensores como de control principal, lo que puede afectar el desempeño del sistema, este problema se soluciona con la propia operación del control climático.

Los efectos sobre el cultivo

En principio el efecto de la reducción de temperatura protege al cultivo de daños y favorece el crecimiento del mismo, la principal ventaja es un crecimiento más uniforme a lo largo de los días, incluso en el periodo de germinación, lo que permite establecer con mayor confiabilidad el ciclo completo de cultivo.

Por otra parte los niveles de humedad relativa aunque adecuados son más difíciles de reducir, puesto que al utilizar un método de intercambio gaseoso se está comprometido al menor nivel de humedad disponible en el aire entrante, sin embargo si este no tiene un nivel bajo, la humedad relativa del interior descenderá poco. El efecto negativo puede ser un riesgo de daño en las hojas por estancamiento de agua en las mismas, lo que puede ocasionar formaciones de hongos y en casos donde la humedad pueda alcanzar niveles altos, alrededor del 90% podemos tener una disminución significativa de la transpiración de las plantas.

El exceso de humedad es muy poco frecuente, y solo alcanza niveles excesivos durante los primeros segundos después de una nebulización para controlar temperatura, de modo que es poco factible el daño al cultivo.

Los costos

Los costos fueron mucho menores, en relación con otros sistemas, este sistema se probó en un invernadero con capacidad para albergar 500 plantas de jitomate a un dosel uniforme de tres racimos, de modo que por cosecha se espera una producción de hasta cuatro toneladas ya que con tal distribución se puede esperar cuatro kilogramos de jitomate por planta, así que podemos

esperar que la venta de este producto costee en la primer cosecha la totalidad del sistema para controlar la temperatura y humedad.

BIBLIOGRAFÍA:

1. Casillas Nicolás, Invernaderos de Plástico, tecnología y manejo, de. Mundi-Prensa, España, 2004.
2. Vázquez Rodríguez José C. Formación de doseles escaliformes para la producción de jitomate en ambientes no restrictivos, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM, México, 2002.
3. Gardner Nigel, An introduction to programming the Microchip PIC in CCS C, USA, 2002.
4. Custom computer services Inc. C Compiler Reference Manual, USA, 2002.
5. Hoja de datos de microcontrolador PIC 18f452.
6. Hoja de datos de reloj de tiempo real DS1307.
7. Hoja de datos de memoria EEPROM AT24c64.
8. Hoja de datos de sensor de temperatura LM35.
9. Hoja de datos de sensor de humedad relativa HTM2500.
10. Hoja de datos de los módulos de comunicación inalámbrica Xbee.
11. Hoja de datos de la interfaz TTL-RS232 MAX232.
12. Hoja de datos del amplificador operacional CA3140E.
13. Hoja de datos del transistor TIP 120.
14. Hoja de datos del relevador TR5VL12V.
15. Hoja de datos del regulador de voltaje 7805.
16. Hoja de datos del regulador de voltaje 7905.
17. Hoja de datos del regulador de voltaje LM317.

Páginas en Internet:

www.Mouser.com

www.agelectronica.com

www.monografias.com

ANEXO:

La siguiente lista, muestra los documentos incluidos en este anexo:

1. Programa en c para microcontrolador principal.
2. Programa en c para microcontrolador del módulo de sensores.
3. Imágenes de los circuitos impresos.

Programa en c para microcontrolador de módulo principal

```
#include <18F452.h>
#fuses noput
#fuses noprotect
#fuses HS          /*especifica tipo oscilador*/
#use delay (clock=12000000) /*especifica oscilador*/
#priority RDA,TIMER1
#define RTC_SDA PIN_C4
#define RTC_SCL PIN_C3
#use i2c(master, sda=RTC_SDA, scl=RTC_SCL,restart_wdt,fast)
#include <ds1307.c>
    int
sec,min,hrs,day,month,yr,dow,msb,lsb,hor,as,minu,tos,com1,ty,tz,hy,hz,b,c,d,e,
f,g,h,i,
com,seg,undos,ddm,ddl,mmm,mml,aal,aam,sday,smonth,syr,shrs,smin,dato,sto
red1, lectura,lectura2,tmem,val,val2,storedA,storedB,pointA,pointB;
long int point,stored;
    int reader(long int stored);
    int vamulsb(int lsb);
    int vamulsb(int msb);
    void store(int dato,long int point);
#int_TIMER1

void sensado()
{
setup_timer_1 ( T1_DISABLED );
#use rs232(baud=9600,xmit=PIN_A2,rcv=PIN_A3,RESTART_WDT)

com1=getc();

    if(com1==1){
        ty=getc();
        com1=getc();
    }
    if(com1==2){
```

```

tz=getc();
com1=getc();

}
if(com1==3){
hy=getc();
com1=getc();

}
if(com1==4){
hz=getc();

}

}

#INT_RDA
void RC_handler()
{

#use rs232(baud=9600,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,RESTART_WDT)
restart_wdt();
com=getc();
if(com==48){ /*adicion temperatura*/
c=b;
b=c+0x01;
if(b==0x47){
b=0x30;
e=d;
d=e+0x01;
}
if(b==0x3A){
b=0x41;
}
putc(0xD5); /*envia un set byte*/
putc(0x30); /*MSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
putc(0x31); /*LSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
putc(d); /*MSB del cuerpo del mensaje*/
putc(b); /*LSB del cuerpo del mensaje*/

putc(0xD5); /*envia un set byte*/
putc(0x30); /*MSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
putc(0x35); /*LSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
putc(ty); /*MSB del cuerpo del mensaje*/
putc(tz); /*LSB del cuerpo del mensaje*/

```

```

}
if(com==50){ /*sustraccion temperatura*/
c=b;
b=c-0x01;
if(b==0x2f){
b=0x46;
e=d;
d=e-0x01;
}
if(b==0x40){
b=0x39;
}
putc(0xD5); /*envia un set byte*/
putc(0x30); /*MSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
putc(0x31); /*LSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
putc(d); /*MSB del cuerpo del mensaje*/
putc(b); /*LSB del cuerpo del mensaje*/

putc(0xD5); /*envia un set byte*/
putc(0x30); /*MSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
putc(0x35); /*LSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
putc(ty); /*MSB del cuerpo del mensaje*/
putc(tz); /*LSB del cuerpo del mensaje*/

}
if(com==49){ /*adicion humedad*/
f=g;
g=f+0x01;
if(g==0x47){
g=0x30;
h=i;
i=h+0x01;
}
if(g==0x3A){
g=0x41;
}
putc(0xD5); /*envia un set byte*/
putc(0x30); /*MSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
putc(0x32); /*LSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
putc(i); /*MSB del cuerpo del mensaje*/
putc(g); /*LSB del cuerpo del mensaje*/

putc(0xD5); /*envia un set byte*/
putc(0x30); /*MSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
putc(0x36); /*LSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
putc(hy); /*MSB del cuerpo del mensaje*/
putc(hz); /*LSB del cuerpo del mensaje*/

}

```

```

if(com==51){  /*sustraccion humedad*/
f=g;
g=f-0x01;
  if(g==0x2f){
    g=0x46;
    h=i;
    i=h-0x01;
  }
  if(g==0x40){
    g=0x39;
  }
  putc(0xD5);  /*envia un set byte*/
  putc(0x30);  /*MSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
  putc(0x32);  /*LSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
  putc(i);    /*MSB del cuerpo del mensaje*/
  putc(g);    /*LSB del cuerpo del mensaje*/

  putc(0xD5);  /*envia un set byte*/
  putc(0x30);  /*MSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
  putc(0x36);  /*LSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
  putc(hy);   /*MSB del cuerpo del mensaje*/
  putc(hz);   /*LSB del cuerpo del mensaje*/

}

if(com==55){

  putc(0xD5);  /*envia una respuesta para Get byte*/
  putc(0x30);  /*MSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
  putc(0x36);  /*LSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
  putc(hy);   /*MSB del cuerpo del mensaje*/
  putc(hz);   /*LSB del cuerpo del mensaje*/

  putc(0xD5);  /*envia un set byte*/
  putc(0x30);  /*MSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
  putc(0x35);  /*LSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
  putc(ty);   /*MSB del cuerpo del mensaje*/
  putc(tz);   /*LSB del cuerpo del mensaje*/

}

if(com==54){
  putc(0xD5);  /*envia un set byte*/
  putc(0x38);  /*MSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
  putc(0x32);  /*LSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
  putc(seg);   /*MSB del cuerpo del mensaje*/
  putc(undos); /*LSB del cuerpo del mensaje*/
}

```

```

    putc(0xD5); /*envia un set byte*/
    putc(0x38); /*MSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(0x31); /*LSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(minu); /*MSB del cuerpo del mensaje*/
    putc(tos); /*LSB del cuerpo del mensaje*/
    putc(0xD5); /*envia un set byte*/
    putc(0x38); /*MSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(0x30); /*LSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(hor); /*MSB del cuerpo del mensaje*/
    putc(as); /*LSB del cuerpo del mensaje*/
    putc(0xD5); /*envia un set byte*/
    putc(0x37); /*MSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(0x37); /*LSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(aam); /*MSB del cuerpo del mensaje*/
    putc(aal); /*LSB del cuerpo del mensaje*/
    putc(0xD5); /*envia un set byte*/
    putc(0x37); /*MSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(0x38); /*LSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(mmm); /*MSB del cuerpo del mensaje*/
    putc(mml); /*LSB del cuerpo del mensaje*/
    putc(0xD5); /*envia un set byte*/
    putc(0x37); /*MSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(0x39); /*LSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(ddm); /*MSB del cuerpo del mensaje*/
    putc(ddl); /*LSB del cuerpo del mensaje*/
}
if(com==38){

    ds1307_get_date(day,month,yr,dow);
    ds1307_get_time(hrs,min,sec);
    smonth=month;
    syr=yr;
    shrs=hrs;
    smin=min;
    sday=day;
    sday=sday+1;
    ds1307_set_date_time(sday,smonth,syr,5,shrs,smin,1);
    ds1307_get_date(day,month,yr,dow);
    putc(0xD5); /*envia un set byte*/
    putc(0x37); /*MSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(0x39); /*LSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(ddm); /*MSB del cuerpo del mensaje*/
    putc(ddl); /*LSB del cuerpo del mensaje*/
}
if(com==39){

    ds1307_get_date(day,month,yr,dow);
    ds1307_get_time(hrs,min,sec);
    smonth=month;

```



```

syr=yr;
shrs=hrs;
smin=min;
sday=day;
sday=sday-1;
ds1307_set_date_time(sday,smonth,syr,5,shrs,smin,1);
ds1307_get_date(day,month,yr,dow);
    putc(0xD5);    /*envia un set byte*/
    putc(0x37);    /*MSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(0x39);    /*LSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(ddm);     /*MSB del cuerpo del mensaje*/
    putc(ddl);     /*LSB del cuerpo del mensaje*/

}
if(com==36){

    ds1307_get_date(day,month,yr,dow);
    ds1307_get_time(hrs,min,sec);
smonth=month;
syr=yr;
shrs=hrs;
smin=min;
sday=day;
smonth=smonth+1;
ds1307_set_date_time(sday,smonth,syr,5,shrs,smin,1);
ds1307_get_date(day,month,yr,dow);
    putc(0xD5);    /*envia un set byte*/
    putc(0x37);    /*MSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(0x38);    /*LSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(mmm);     /*MSB del cuerpo del mensaje*/
    putc(mml);     /*LSB del cuerpo del mensaje*/
}
if(com==37){

    ds1307_get_date(day,month,yr,dow);
    ds1307_get_time(hrs,min,sec);
smonth=month;
syr=yr;
shrs=hrs;
smin=min;
sday=day;
smonth=smonth-1;
ds1307_set_date_time(sday,smonth,syr,5,shrs,smin,1);
ds1307_get_date(day,month,yr,dow);
    putc(0xD5);    /*envia un set byte*/
    putc(0x37);    /*MSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(0x38);    /*LSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(mmm);     /*MSB del cuerpo del mensaje*/
    putc(mml);     /*LSB del cuerpo del mensaje*/
}

```

```

}
if(com==34){

    ds1307_get_date(day,month,yr,dow);
    ds1307_get_time(hrs,min,sec);
    smonth=month;
    syr=yr;
    shrs=hrs;
    smin=min;
    sday=day;
    syr=syr+1;
    ds1307_set_date_time(sday,smmonth,syr,5,shrs,smin,1);
    ds1307_get_date(day,month,yr,dow);
    putc(0xD5);    /*envia un set byte*/
    putc(0x37);    /*MSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(0x37);    /*LSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(aam);     /*MSB del cuerpo del mensaje*/
    putc(aal);     /*LSB del cuerpo del mensaje*/
}
if(com==35){

    ds1307_get_date(day,month,yr,dow);
    ds1307_get_time(hrs,min,sec);
    smonth=month;
    syr=yr;
    shrs=hrs;
    smin=min;
    sday=day;
    syr=syr-1;
    ds1307_set_date_time(sday,smmonth,syr,5,shrs,smin,1);
    ds1307_get_date(day,month,yr,dow);
    putc(0xD5);    /*envia un set byte*/
    putc(0x37);    /*MSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(0x37);    /*LSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(aam);     /*MSB del cuerpo del mensaje*/
    putc(aal);     /*LSB del cuerpo del mensaje*/
}
if(com==30){

    ds1307_get_date(day,month,yr,dow);
    ds1307_get_time(hrs,min,sec);
    smonth=month;
    syr=yr;
    shrs=hrs;
    smin=min;
    sday=day;
    shrs=shrs+1;
    ds1307_set_date_time(sday,smmonth,syr,5,shrs,smin,1);
    ds1307_get_time(hrs,min,sec);

```

```

    putc(0xD5);    /*envia un set byte*/
    putc(0x38);    /*MSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(0x31);    /*LSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(minu);    /*MSB del cuerpo del mensaje*/
    putc(tos);     /*LSB del cuerpo del mensaje*/
}
if(com==31){

    ds1307_get_date(day,month,yr,dow);
    ds1307_get_time(hrs,min,sec);
smonth=month;
syr=yr;
shrs=hrs;
smin=min;
sday=day;
shrs=shrs-1;
ds1307_set_date_time(sday,smmonth,syr,5,shrs,smin,1);
ds1307_get_time(hrs,min,sec);

    putc(0xD5);    /*envia un set byte*/
    putc(0x38);    /*MSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(0x30);    /*LSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(hor);     /*MSB del cuerpo del mensaje*/
    putc(as);      /*LSB del cuerpo del mensaje*/
}
if(com==32){

    ds1307_get_date(day,month,yr,dow);
    ds1307_get_time(hrs,min,sec);
smonth=month;
syr=yr;
shrs=hrs;
smin=min;
sday=day;
smin=smin+1;
ds1307_set_date_time(sday,smmonth,syr,5,shrs,smin,1);
ds1307_get_time(hrs,min,sec);

    putc(0xD5);    /*envia un set byte*/
    putc(0x38);    /*MSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(0x31);    /*LSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(minu);    /*MSB del cuerpo del mensaje*/
    putc(tos);     /*LSB del cuerpo del mensaje*/
}
if(com==33){

    ds1307_get_date(day,month,yr,dow);
    ds1307_get_time(hrs,min,sec);
smonth=month;
syr=yr;

```

```

shrs=hrs;
smin=min;
sday=day;
smin=smin-1;
ds1307_set_date_time(sday,smmonth,syr,5,shrs,smin,1);
ds1307_get_time(hrs,min,sec);

    putc(0xD5);    /*envia un set byte*/
    putc(0x38);    /*MSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(0x31);    /*LSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(minu);    /*MSB del cuerpo del mensaje*/
    putc(tos);     /*LSB del cuerpo del mensaje*/
}
if(com==99){
output_high(PIN_D1);
}
if(com==98){
output_low(PIN_D1);
}

if(com==11){
val=reader(1);
val2=reader(2);

    putc(0xD5);    /*envia un set byte*/
    putc(0x30);    /*MSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(0x41);    /*LSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(val);     /*MSB del cuerpo del mensaje*/
    putc(val2);    /*LSB del cuerpo del mensaje*/

val=reader(3);
val2=reader(4);

    putc(0xD5);    /*envia un set byte*/
    putc(0x30);    /*MSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(0x42);    /*LSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(val);     /*MSB del cuerpo del mensaje*/
    putc(val2);    /*LSB del cuerpo del mensaje*/

val=reader(5);
val2=reader(6);

    putc(0xD5);    /*envia un set byte*/
    putc(0x30);    /*MSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(0x43);    /*LSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(val);     /*MSB del cuerpo del mensaje*/
    putc(val2);    /*LSB del cuerpo del mensaje*/

val=reader(7);

```

```

val2=reader(8);

    putc(0xD5); /*envia un set byte*/
    putc(0x30); /*MSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(0x44); /*LSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(val); /*MSB del cuerpo del mensaje*/
    putc(val2); /*LSB del cuerpo del mensaje*/
lectura=7;
lectura2=8;
}
if(com==10){

store(hy,1);
store(hz,2);
store(ty,3);
store(tz,4);
store(hor,5);
store(as,6);
store(ddm,7);
store(ddl,8);

val=reader(1);
val2=reader(2);

    putc(0xD5); /*envia un set byte*/
    putc(0x30); /*MSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(0x41); /*LSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(val); /*MSB del cuerpo del mensaje*/
    putc(val2); /*LSB del cuerpo del mensaje*/

val=reader(3);
val2=reader(4);

    putc(0xD5); /*envia un set byte*/
    putc(0x30); /*MSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(0x42); /*LSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(val); /*MSB del cuerpo del mensaje*/
    putc(val2); /*LSB del cuerpo del mensaje*/

val=reader(5);
val2=reader(6);

    putc(0xD5); /*envia un set byte*/
    putc(0x30); /*MSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(0x43); /*LSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(val); /*MSB del cuerpo del mensaje*/
    putc(val2); /*LSB del cuerpo del mensaje*/

```

```

val=reader(7);
val2=reader(8);

    putc(0xD5); /*envia un set byte*/
    putc(0x30); /*MSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(0x44); /*LSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(val); /*MSB del cuerpo del mensaje*/
    putc(val2); /*LSB del cuerpo del mensaje*/
lectura=7;
lectura2=8;
point=8;
}
if(com==7){
disable_interrupts(global);
lectura=lectura+2;
lectura2=lectura+1;

val=reader(lectura);
val2=reader(lectura2);

    putc(0xD5); /*envia un set byte*/
    putc(0x30); /*MSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(0x41); /*LSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(val); /*MSB del cuerpo del mensaje*/
    putc(val2); /*LSB del cuerpo del mensaje*/

lectura=lectura+2;
lectura2=lectura+1;

val=reader(lectura);
val2=reader(lectura2);

    putc(0xD5); /*envia un set byte*/
    putc(0x30); /*MSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(0x42); /*LSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(val); /*MSB del cuerpo del mensaje*/
    putc(val2); /*LSB del cuerpo del mensaje*/
lectura=lectura+2;
lectura2=lectura+1;

val=reader(lectura);
val2=reader(lectura2);

    putc(0xD5); /*envia un set byte*/
    putc(0x30); /*MSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(0x43); /*LSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(val); /*MSB del cuerpo del mensaje*/
    putc(val2); /*LSB del cuerpo del mensaje*/
lectura=lectura+2;
lectura2=lectura+1;

```

```

val=reader(lectura);
val2=reader(lectura2);

    putc(0xD5);    /*envia un set byte*/
    putc(0x30);    /*MSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(0x44);    /*LSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(val);     /*MSB del cuerpo del mensaje*/
    putc(val2);    /*LSB del cuerpo del mensaje*/

enable_interrupts(global);
}
if(com==8){
disable_interrupts(global);
lectura=lectura-14;
lectura2=lectura+1;

val=reader(lectura);
val2=reader(lectura2);

    putc(0xD5);    /*envia un set byte*/
    putc(0x30);    /*MSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(0x41);    /*LSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(val);     /*MSB del cuerpo del mensaje*/
    putc(val2);    /*LSB del cuerpo del mensaje*/

lectura=lectura+2;
lectura2=lectura+1;

val=reader(lectura);
val2=reader(lectura2);

    putc(0xD5);    /*envia un set byte*/
    putc(0x30);    /*MSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(0x42);    /*LSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(val);     /*MSB del cuerpo del mensaje*/
    putc(val2);    /*LSB del cuerpo del mensaje*/
lectura=lectura+2;
lectura2=lectura+1;

val=reader(lectura);
val2=reader(lectura2);

    putc(0xD5);    /*envia un set byte*/
    putc(0x30);    /*MSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(0x43);    /*LSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(val);     /*MSB del cuerpo del mensaje*/
    putc(val2);    /*LSB del cuerpo del mensaje*/
lectura=lectura+2;
lectura2=lectura+1;

```

```

val=reader(lectura);
val2=reader(lectura2);

    putc(0xD5);    /*envia un set byte*/
    putc(0x30);    /*MSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(0x44);    /*LSBnombre del byte de ram interna del esclavo*/
    putc(val);     /*MSB del cuerpo del mensaje*/
    putc(val2);    /*LSB del cuerpo del mensaje*/

enable_interrupts(global);
}
}
/*adecuando valores para transmitir a amulet*/

int vamumsb(int msb)
{

bit_clear(msb,0);    /*limpiando los bits menos significativos*/
bit_clear(msb,1);
bit_clear(msb,2);
bit_clear(msb,3);

rotate_right(&msb,1);
rotate_right(&msb,1);
rotate_right(&msb,1);
rotate_right(&msb,1);
restart_wdt();

msb=msb+0x30;        /*asignando valotes a la variable mas significativa a
transmitir*/

return(msb);
}

int vamulsb(int lsb)
{

bit_clear(lsb,4);    /*limpiando los bits mas significativos*/
bit_clear(lsb,5);
bit_clear(lsb,6);
bit_clear(lsb,7);

restart_wdt();

if(lsb>=0x0A){        /*asignando valores a la variable menos significativas*/
lsb=lsb+0x37;
}
if(lsb<=0x09){        /*asignando valores a la variable menos significativas*/

```



```

lsb=lsb+0x30;
}
return(lsb);
}

```

```

int reader(long int stored)
{
storedA=stored;
bit_clear(stored,0); /*limpiando los bits menos significativos*/
bit_clear(stored,1);
bit_clear(stored,2);
bit_clear(stored,3);
bit_clear(stored,4);
bit_clear(stored,5);
bit_clear(stored,6);
bit_clear(stored,7);

rotate_right(&stored,1);
rotate_right(&stored,1);
rotate_right(&stored,1);
rotate_right(&stored,1);
rotate_right(&stored,1);
rotate_right(&stored,1);
rotate_right(&stored,1);
rotate_right(&stored,1);

restart_wdt();
storedB=stored;

i2c_start();
i2c_write(0xA0);
i2c_write(storedB);
i2c_write(storedA);
i2c_stop();
delay_ms(10);
i2c_start();
i2c_write(0xA1);
stored1=i2c_read(0);
i2c_stop();
return (stored1);
}
void store(int dato,long int point){
pointA=point;
bit_clear(point,0);
bit_clear(point,1);
bit_clear(point,2);
bit_clear(point,3);
bit_clear(point,4);
}

```

```

bit_clear(point,5);
bit_clear(point,6);
bit_clear(point,7);
rotate_right(&point,1);
rotate_right(&point,1);
rotate_right(&point,1);
rotate_right(&point,1);
rotate_right(&point,1);
rotate_right(&point,1);
rotate_right(&point,1);
rotate_right(&point,1);
pointB=point;
    i2c_start();
    i2c_write(0xA0);
    i2c_write(pointB);
    i2c_write(pointA);
    i2c_write(dato);
    i2c_stop();
    delay_ms(10);
    i2c_start();
    i2c_write(0xA0);
    i2c_write(0x00);
    i2c_write(0x00);
    i2c_stop();
delay_ms(10);

}

void main(){

d=0x31; /*d es la variable mas significativa de temperatura en ascii*/
b=0x39; /*b es la variable menos significativa de temperatura en
ascii*/
g=0x43; /*g es la variable menos significativa de humedad en ascii*/
i=0x33; /*i es la variable mas significativa de humedad en ascii*/
ty=0x31;
tz=0x34;
hy=0x30;
hz=0x42;
seg=0x30;
undos=0x31;

enable_interrupts(INT_RDA);
enable_interrupts(INT_TIMER1);
enable_interrupts(GLOBAL);

```

```

ds1307_init();

// Set date for -> 26 sep 2008 Viernes
// Set time for -> 15:20:55
/* ds1307_set_date_time(26,9,8,5,15,20,55);*/

do{
setup_timer_1(T1_internal);
set_TIMER1(0xfffe);
delay_ms(1);
setup_wdt(WDT_ON);
restart_wdt();

delay_ms(900);
tmem=hrs;
ds1307_get_date(day,month,yr,dow);
ds1307_get_time(hrs,min,sec);

restart_wdt();
seg=vamumsb(sec);
undos=vamulsb(sec);
minu=vamumsb(min);
tos=vamulsb(min);
hor=vamumsb(hrs);
as=vamulsb(hrs);
ddm=vamumsb(day);
ddl=vamulsb(day);
mmm=vamumsb(month);
mml=vamulsb(month);
aam=vamumsb(yr);
aal=vamulsb(yr);
if(min==3&&sec==2){
point=point+1;
store(hy,point);
point=point+1;
store(hz,point);
point=point+1;
store(ty,point);
point=point+1;
store(tz,point);
point=point+1;
store(hor,point);
point=point+1;
store(as,point);
point=point+1;
store(ddm,point);
point=point+1;
store(ddl,point);
restart_wdt();
}
}

```

```
}

if(hy>i&&hz<=g){

output_high(PIN_A0);
restart_wdt();

}
if(hy>i&&hz>g){

output_high(PIN_A0);
restart_wdt();

}
if(hz>g&&hy==i){

output_high(PIN_A0);
restart_wdt();

}

if(hy<=i&&hz<=g){

output_low(PIN_A0);
restart_wdt();
}
if(ty>d&&tz<=b){

output_high(PIN_A1);
restart_wdt();

}

if(ty>d&&tz>b){

output_high(PIN_A1);
restart_wdt();

}
if(tz>b&&ty==d){

output_high(PIN_A1);
restart_wdt();

}
if(ty<=d&&tz<=b){

output_low(PIN_A1);
restart_wdt();

}
```

```

}
}while(true);
}

```

Programa en c para el microcontrolador del módulo de sensores

```

#include <18F452.h>
#define ADC=8
#define nowdt
#define noput
#define noprotect
#define XT /*especifica tipo oscilador en este caso menor a
4Mhz*/
#define delay (clock=2000000) /*especifica oscilador*/
#define rs232(baud=9600,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7)
int ty,tz,hy,hz,tx,hx,tmsb,tlsb,hlsb,hmsb;
long ciclo;

void main(){

ciclo=0;

while (ciclo==0){ /*como ciclo siempre vale cero es un ciclo infinito*/
/*lectura y procesamiento temperatura*/
hmsb=0;
hlsb=0;

setup_adc( ADC_CLOCK_INTERNAL );
setup_adc_ports( ALL_ANALOG );
set_adc_channel(0);
tx=read_adc();
tmsb=tx/3; /*asignando lectura a variable*/
tlsb=tx/3; /*asignando lectura a variable*/
bit_clear(tmsb,0); /*limpiando los bits menos significativos*/
bit_clear(tmsb,1);
bit_clear(tmsb,2);
bit_clear(tmsb,3);
bit_clear(tlsb,4); /*limpiando los bits mas significativos*/
bit_clear(tlsb,5);
bit_clear(tlsb,6);
bit_clear(tlsb,7);
rotate_right(&tmsb,1);
rotate_right(&tmsb,1);
rotate_right(&tmsb,1);
rotate_right(&tmsb,1);

```

```

ty=tmsb+0x30; /*asignando valotes a la variable mas significativa a
transmitir*/
if(tlsb>=0x0A){ /*asignando valores a la variable menos
significativas*/
tz=tlsb+0x37;
}
if(tlsb<=0x09){ /*asignando valores a la variable menos
significativas*/
tz=tlsb+0x30;
}

/*lectura y procesamiento humedad*/
setup_adc( ADC_CLOCK_INTERNAL );
setup_adc_ports( ALL_ANALOG );
set_adc_channel(1);
hx=read_adc();
hmsb=(hx/4*3)-39;

/*asignando lectura a variable e implementando la función de humedad*/
hlsb=(hx/4*3)-39;; /*asignando lectura a variable e implementando
la funcion de humedad*/
bit_clear(hmsb,0); /*limpiando los bits menos significativos*/
bit_clear(hmsb,1);
bit_clear(hmsb,2);
bit_clear(hmsb,3);

bit_clear(hlsb,4); /*limpiando los bits mas significativos*/
bit_clear(hlsb,5);
bit_clear(hlsb,6);
bit_clear(hlsb,7);
rotate_right(&hmsb,1);
rotate_right(&hmsb,1);
rotate_right(&hmsb,1);
rotate_right(&hmsb,1);

hy=hmsb+0x30; /*asignando valotes a la variable mas significativa a
transmitir*/
if(hlsb>=0x0A){ /*asignando valores a la variable menos
significativas*/
hz=hlsb+0x37;
}
if(hlsb<=0x09){ /*asignando valores a la variable menos
significativas*/
hz=hlsb+0x30;
}
putc(1);
putc(ty);
putc(2);
putc(tz);

```

```
putc(3);  
putc(hy);  
putc(4);  
putc(hz);  
delay_ms(500);  
}  
  
}
```

Imagen del circuito impreso del módulo principal.

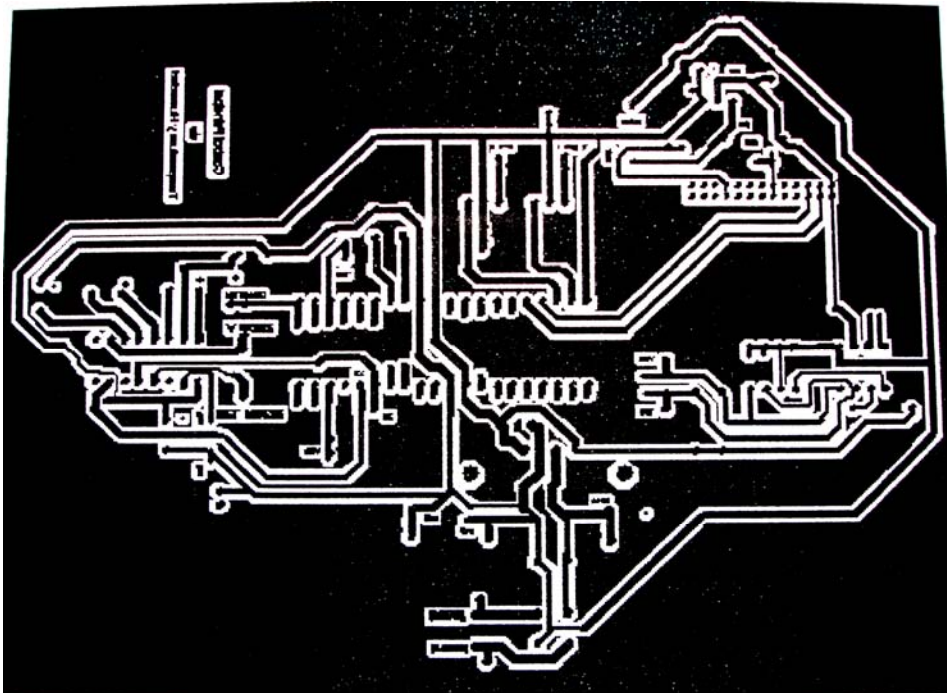


Imagen del circuito impreso del módulo de sensores:

