

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

Facultad de Ingeniería Eléctrica

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA INCUBADORA DE
HUEVOS DE AVES CONTROLADA ELECTRONICAMENTE**

PABLO MAURICIO POSSO DAVILA

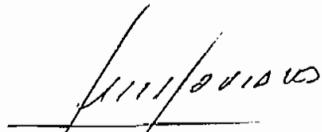
**Tesis Previa a la Obtención del Título de
INGENIERO EN ELECTRONICA Y CONTROL**

**QUITO
1998**

Quito, 19 de Mayo de 1998

CERTIFICACION

Certifico que la presente tesis ha sido realizada en su totalidad por el Sr. Pablo Posso.



A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Luis Corrales', is written over a horizontal line.

DR. LUIS CORRALES

DIRECTOR DE TESIS

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mis
Padres, que con su apoyo y amor,
siempre me impulsaron a seguir
adelante.

AGRADECIMIENTO

A mis hermanos, por su apoyo.

A los Profesores de la Escuela
Politécnica Nacional, por los
conocimientos impartidos.

Al Dr. Luis Corrales por toda su
colaboración, y una acertada
dirección.

INDICE GENERAL

CAPITULO 1: GENERALIDADES

	PAG.
ANTECEDENTES	2
1.1 EL PROCESO NATURAL DE LA INCUBACION DE HUEVOS DE AVES.	4
1.2 LA INCUBACION ARTIFICIAL Y SUS FACTORES	7
1.3 TEMPERATURA Y HUMEDAD: CONCEPTOS Y TEORIA GENERAL	14
1.4 DETERMINACION DEL PROBLEMA	17

CAPITULO 2: DISEÑO DEL HARDWARE Y CONSTRUCCION

2.1 DISEÑO DEL MODULO METALICO Y CUPULA	18
2.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE MOVIMIENTO DE LOS HUEVOS DE AVES	21
2.3 DISEÑO DE LOS CIRCUITOS ELECTRONICOS	24
2.3.1 TARJETA MCPD51	27
2.3.2 DISEÑO DEL CALENTADOR	29
2.3.3 CIRCUITO DE CONTROL DEL CALENTADOR	32
2.3.4 CIRCUITO DETECTOR DEL CRUCE POR CERO	37
2.3.5 CIRCUITO DE ACTIVACION DEL PARLANTE	41
2.3.6 CIRCUITO DE DETECCION DE AUSENCIA DE CORRIENTE EN EL MOTOR	42
2.3.7 CIRCUITO ACONDICIONADOR DEL SENSOR DE TEMPERATURA	45

2.3.8	CIRCUITO DE VISUALIZACION Y TECLADO	49
2.3.9	CIRCUITO DE CONTROL DEL MOTOR DE PASOS	58
2.3.10	CIRCUITO DE DETECCION DE FIN DE CARRERA	61
2.4	FUENTE DE ALIMENTACION	63
2.5	PROTECCIONES DEL EQUIPO Y ELIMINACION DE INTERFERENCIAS	65
2.6	DISEÑO DE LAS TARJETAS ELECTRONICAS	66
2.7	INCONVENIENTES PRESENTADOS CON EL HARDWARE Y SUS SOLUCIONES	71

CAPITULO 3: DISEÑO DEL SOFTWARE

3.1	GENERALIDADES	74
3.2	DIAGRAMAS DE FLUJO DEL PROGRAMA	75
3.3	DESARROLLO DEL SOFTWARE	81
3.4	CONTROL DE TEMPERATURA EN LA INCUBADORA	92
3.5	CALCULO DE LOS VALORES COLOCADOS EN LOS DIFERENTES REGISTROS	97

CAPITULO 4: PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1	PRUEBAS REALIZADAS	104
4.1.1	PRUEBAS DEL CONTROL DE TEMPERATURA	105
4.1.2	PRUEBAS DE REGULACION DE LA HUMEDAD RELATIVA	109
4.2	RESULTADOS	110
4.2.1	RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE CONTROL DE TEMPERATURA	110

4.2.2	RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE REGULACION DE LA HUMEDAD RELATIVA	116
4.3	ANALISIS ECONOMICO DEL EQUIPO CONSTRUIDO	118

CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	CONCLUSIONES	125
5.2	RECOMENDACIONES	129

	BIBLIOGRAFIA	132
--	---------------------	-----

ANEXOS

ANEXO 1	TARJETA MCPD51
ANEXO 2	FOTOGRAFIAS DEL EQUIPO
ANEXO 3	PLANOS DEL EQUIPO
ANEXO 4	DATOS TECNICOS

INDICE DE FIGURAS

	PAG.	
2.1	Circulación del aire en la incubadora	19
2.2	Sistema de movimiento de los huevos	22
2.3	Diagrama modular de las funciones que realizarán los circuitos electrónicos	25
2.4	Construcción de un calentador tubular	30
2.5	Control de fase directo	32
2.6	Circuito de activación del triac	33
2.7	Circuito de detección del cruce por cero	38
2.8	Formas de onda en los puntos TP1 y TP2	39
2.9	Circuito de activación de la alarma	41
2.10	Circuito de detección de ausencia de corriente en el motor	43
2.11	Circuito acondicionador del sensor de temperatura	46
2.12	Circuito de control de los displays	51
2.13	Circuito de visualización de los leds	55
2.14	Circuito del teclado	57
2.15	Circuito de control del motor de pasos	60
2.16	Circuito de detección de fin de carrera	62
4.1	Control de temperatura a 30°C (sin agua)	111
4.2	Control de temperatura a 30°C (con agua)	112
4.3	Control de temperatura a 37°C (sin agua)	113
4.4	Control de temperatura a 37°C (con agua)	114
4.5	Respuesta a la primera perturbación	115
4.6	Respuesta a la segunda perturbación	116

INDICE DE TABLAS

	PAG.
3.1 Potencia del elemento de calefacción	93
3.2 Valores de R6 para el movimiento automático	101
4.1 Lecturas de la Humedad Relativa	117
4.2 Costo total de los materiales utilizados	124

CAPITULO 1

GENERALIDADES

ANTECEDENTES

Las aves incuban sus huevos con éxito en nidos construidos en su hábitat natural; en un zoológico, se ha comprobado que las aves no pueden realizar la incubación en la mayoría de casos. Frente a esta situación, se ha planteado la idea de incubar los huevos en una forma artificial, simulando las condiciones naturales necesarias para obtener una correcta incubación.

En el Zoológico del Municipio de Quito, existen aves en peligro de extinción, como el cóndor y el gallinazo rey; el diseño y construcción de una incubadora de huevos para este tipo de aves, se considera una buena alternativa para evitar que los huevos se pierdan, al no poder ser incubados en forma natural.

Pero, en el zoológico, existe una amplia variedad de aves de diferentes tamaños, cuyos huevos tampoco pueden ser incubados naturalmente; por lo tanto la idea original de diseñar una incubadora de propósito específico se convirtió en diseñar una incubadora de propósito general; idea con la que también coincidieron en la Facultad de Ingeniería Eléctrica al aprobar el tema.

Los polluelos, luego de romper el cascarón, necesitan de un ambiente con condiciones de temperatura y humedad adecuadas. Tomando en consideración esto, se pensó que la incubadora a diseñarse podía también cumplir con esta función.

Finalmente, se pensó en una función adicional que podría cumplir la incubadora en el zoológico: proporcionar un lugar para el cuidado de aves pequeñas, o que requieran de una lugar de ambientación.

Tomando en consideración lo expuesto, el objetivo inicial de este trabajo se convirtió en diseñar y construir un equipo que cumpla con la función de incubar huevos de una amplia variedad de aves, simulando las condiciones adecuadas para ello; y además proporcionar un ambiente en el cual se pueda variar la temperatura y la humedad relativa del aire.

Este trabajo se ha desarrollado en 5 capítulos. El Capítulo 1, realiza un estudio del proceso de incubación tanto en forma natural como artificial, y describe los factores a tomarse en cuenta para obtener una incubación con un bajo índice de mortalidad de los embriones. El Capítulo 2, trata sobre el diseño y construcción de una incubadora de huevos de aves controlada electrónicamente; incluye el diseño de circuitos y tarjetas electrónicas. El Capítulo 3, explica el software implementado para cumplir con las funciones de la incubadora. Las pruebas realizadas concernientes al funcionamiento del equipo, y los resultados obtenidos se exponen en el Capítulo 4; y, finalmente, las conclusiones y recomendaciones de este trabajo se presentan en el Capítulo 5.

1.1 EL PROCESO NATURAL DE LA INCUBACION DE HUEVOS DE AVES

La incubación es el proceso por el cual el calor necesario para el desarrollo embriónico es aplicado a un huevo. Este calor es usualmente liberado por el cuerpo de uno o los dos padres del ave (uno a la vez), aunque en algunas especies existe padres postizos. También existen especies que utilizan fuentes naturales de calor tales como la radiación solar, volcanes, o el calor proveniente de la fermentación de la descomposición de materia orgánica.

Los períodos en los cuales el ave se sienta a anidar (período de atención al nido) varían enormemente entre las especies, pudiendo ser tan cortos como menos de una hora o tan largos como varias semanas. Las aves que se encuentran incubando no pueden ajustar su calor para regular la temperatura de los huevos, pero en vez de eso ajustan la cantidad de tiempo que ellos pasan en contacto con los huevos (anidando). Consecuentemente los ajustes en el tiempo (número y/o duración de los períodos de anidación, llamado también ritmo de incubación) que el ave pasa atendiendo los huevos están relacionados con la temperatura del ambiente, el grado de aislamiento del nido, y el tiempo requerido para buscar provisiones.

Cuando los padres dejan el nido, los huevos pierden calor en una proporción dependiente del tamaño y color del huevo, el arreglo en el nido y la temperatura ambiente. La resistencia del embrión al enfriamiento ha sido probada como una característica general.

Además existen muchas aves que desatienden los huevos en períodos tan largos como 28 días en algunas especies, por dificultades en la obtención de comida. Los períodos de atención al huevo son más largos en la noche y en la madrugada cuando la temperatura es más fría (la agitación o movimiento de los padres y el hurgueo del nido también son muy reducidos). En el día, mientras la temperatura ambiental aumenta, los períodos de inatención también aumentan. Los embriones muestran una gran adaptación para soportar este descuido o inatención disminuyendo su metabolismo; es decir, el embrión puede continuar desarrollándose a temperaturas más bajas a los 30°C, pero con el correspondiente prolongamiento del período de incubación debido a una disminución de su metabolismo.

Mantener una adecuada temperatura de incubación sin embargo es sólo un ingrediente para una incubación exitosa. Otros ingredientes se han detectado a través del estudio del comportamiento de las aves en este período. Así, la mayoría de las aves pierden alrededor del 15% de su peso debido a la pérdida de agua a través de la corteza porosa, lo cual sugiere una regulación de la humedad en el nido o una adaptación de la porosidad de la cáscara a las condiciones de humedad (Ley de la evolución de Darwin).

La ventilación del nido lograda cuando el ave levanta el vuelo o cambia de posición es importante para mantener una aireación adecuada. Un volteo del huevo mediante el comportamiento de hurgar del ave es importante por muchas razones, como por ejemplo, contrarrestar los gradientes de temperatura o prevenir adhesiones entre la membrana extra-embriónica y las membranas de la cáscara; además, en la

última parte de la incubación los huevos desarrollan una distribución asimétrica de su peso para que cuando su padre los voltee, los huevos queden en una posición adecuada para su rompimiento.

El período de incubación está definido como el tiempo entre la puesta del huevo y su rompimiento. Los períodos de incubación varían desde 11 días hasta cerca de 80 días. Algunos ejemplos de la duración aproximada del período de incubación para algunas aves se dan a continuación:

Paloma.....	14 días
Pinzón.....	14 días
Periquito.....	18 días
Gallina.....	21 días
Codorniz.....	23 días
Faisán.....	23 días
Pavo.....	28 días
Loro.....	28 días
Pato.....	28 a 33 días
Ganso.....	28 a 33 días
Cisne.....	30 a 37 días
Cóndor de California.....	56 días

Existe una regla general entre el peso del huevo y el período de incubación, así: el período de incubación se incrementa en un 16% de promedio si el huevo duplica su peso. Sin embargo, varios factores pueden modificar esta regla, la temperatura del huevo durante la incubación; el clima, el tipo de nido y la proporción de desarrollo del embrión son algunos de ellos. El número de días de duración

de la incubación varía con la especie, y varía también dentro de una misma especie debido a que puede existir períodos de inatención más largos o cortos del ave hacia el huevo. Los períodos de incubación casi siempre están relacionados con el tamaño del ave; (aunque existen algunas excepciones) es decir, a mayor tamaño del ave, mayor duración del período de incubación.

Como una norma, las aves comienzan a anidar luego que el último huevo ha sido puesto. A veces, sin embargo, esto podría demorar de uno a tres días después que el último huevo es puesto o, el caso contrario, iniciar después que el primer huevo es puesto. La anidación antes que el nido esté completo, podría o no involucrar un calentamiento total de los huevos, especialmente si el área donde el ave calienta al huevo no está desarrollada. Consecuentemente, cuando el ave se sienta en el nido antes que éste esté completo podría no siempre indicar un inicio en la incubación. En base a todas estas observaciones se ha llegado a establecer que la incubación se realiza sólo cuando el ave aplica su máximo calor a los huevos.

1.2 LA INCUBACION ARTIFICIAL Y SUS FACTORES

El inicio de la incubación artificial no tiene que ser necesariamente inmediato a la puesta del huevo, sino que éste puede esperar, o ser almacenado hasta varios días, sin perder su incubabilidad pero si se dan ciertas condiciones en su almacenamiento.

Un cuidado especial en el manejo de los huevos debe observarse en todo momento, puesto que su cascarón es muy delgado y cualquier rompimiento por más pequeño que sea, inhibirá el crecimiento del embrión.

Se pretende reproducir artificialmente el trabajo de los padres naturales. Esto quiere decir que se deben controlar factores como: humedad, temperatura, ventilación y el volteo del huevo. Estos son los parámetros que se pretenden controlar en este trabajo.

Humedad

Por medio de la humedad el calcio es transferido de la cáscara al embrión, también se controlan los requerimientos de oxígeno. Si la humedad es baja, el embrión obtendrá más oxígeno pero perderá mucha agua y se deshidratará; si la humedad es alta, la oxigenación del embrión no será suficiente, asfixiándose o envenenándose con su propio metabolismo al no poder eliminar por medio del agua que pierde el bióxido de carbono.

En una incubación con una adecuada humidificación, el peso del polluelo al final del período de incubación debe estar cerca del 72% del peso del huevo.

Para la gallina, los huevos deben perder de 11 a 14% de su peso original para el día 18 de su incubación. Esto tiene como fin asegurar que la celda de aire se haya desarrollado en forma adecuada, permitiendo al pollito colocarse en buena posición para el momento de nacer. Los requisitos de humedad relativa varían durante los diferentes momentos del

ciclo de incubación. En forma sencilla, la variación en la incubación de huevos de gallina, es como sigue:

- Desde el tiempo de colocación hasta el día 17 se mantiene a 55% - 60% HR (humedad relativa).
- Durante el período entre el día 17 hasta el momento de romper el cascarón es beneficioso iniciar un período de 12 horas de secado a 40% - 50% HR.
- Regresar a 55% - 60% hasta que un 10% a 25% de los huevos inicien la rotura del cascarón. Después de esto, los pollitos deben mantenerse a 60% - 75% HR (aún después de salir del cascarón).

Temperatura

La temperatura es el factor ambiental dentro de la incubadora que más afecta el desarrollo embrionario. En el caso de la gallina, la temperatura óptima de incubación oscila entre 99°F y 100°F. (37.2°C y 37.8°C). Esta temperatura óptima varía conforme se desarrolla el embrión.

Incubar huevos a bajas temperaturas produce un crecimiento desproporcionado en el embrión, dado que cada órgano o tejido responde de manera distinta generando problemas cardíacos y circulatorios; se reduce el desarrollo de las membranas y la absorción de los nutrientes, además de causar una disfunción hepática. Las altas temperaturas (más de 100°F) causan anomalías en el sistema nervioso y en las membranas embrionarias, los polluelos nacen deformes con anomalías en pico y cerebro, piernas cortas, ombligos mal cicatrizados y deshidratados.

Cabe anotar que las temperaturas altas son más letales que las bajas, e incluso en la incubación natural se puede encontrar que los embriones soportan en gran forma las temperaturas bajas cuando sus padres desatienden al nido.

Volviendo al caso de la gallina, los diferentes rangos de temperatura a ser mantenidos durante las diversas etapas de incubación son los siguientes:

DIAS DE INCUBACION	RANGO DE TEMPERATURA	
	Fahrenheit	Centígrados
1 - 4	99,5 - 101,0	37,5 - 38,3
3 - 18	99,0 - 101,0	37,2 - 38,3
17 - hasta el nacimiento	97,5 - 102,5	36,4 - 39,2
Después del nacimiento	85,0 - 105,0	29,5 - 40,5

Ventilación

La ventilación o aireación es un factor que se debe tomar en cuenta ya que el embrión es un ser vivo que necesita, como cualquier otro ser viviente, de oxígeno y aire para poder vivir. Es por esto que una incubadora artificial debe tener un sistema de entrada de aire continuo, pero sin que éste afecte la temperatura interior.

Volteo

El efecto del volteo será explicado tomando como ejemplo a la gallina. Los mismos efectos que se dan para esta ave se pueden generalizar para el resto de especies con una

variación en los días de incubación que se mencionan más adelante y que serán diferentes ya que los períodos de incubación son también distintos.

El huevo necesita únicamente 8 volteos por día, pero se ha llegado a obtener mejores resultados volteándolo 24 veces diarias, las mejores incubaciones se han logrado volteándolo 96 veces al día durante los primeros catorce días de incubación.

El volteo es indispensable durante los primeros 14 días del período de incubación, período en el que se cierra la membrana corioalantoidea. El momento más crítico para el volteo radica en el período comprendido entre los 3 y 7 días de incubación. El volteo de los huevos evita que se peguen las membranas embrionarias y permite al embrión tomar su colocación normal de incubación, colocación que reduce anomalías y malposiciones.

El volteo estimula la absorción de la albúmina y del saco vitelino, incrementa la frecuencia cardíaca y mejora el intercambio de oxígeno. A continuación se presenta una tabla acerca de los efectos de la falta de volteo.

Efectos de la falta de volteo

Días de incubación	Efectos que sufre el embrión por fallas en el volteo
3	El embrión se pega a las membranas
5	Desarrollo deficiente del área vasculosa
7	Restricción en la formación del líquido

	subembrionario
8	Se diluye mucho la albúmina
9	Hay malposición del embrión en relación al saco vitelino y a la albúmina
11	Se tiene crecimiento deficiente en la membrana corioalantoidea
12	Falla en la formación del saco de la albúmina
13	Retardo en el crecimiento del embrión
14	Mala transferencia de albúmina hacia el líquido amniótico
16	Deficiente oxigenación en la sangre del embrión
19	Hay residuos de albúmina
20	Malposición del embrión para el nacimiento
21	Mal nacimiento

Experimentalmente probado por diseñadores de incubadoras de huevos de gallina, el momento adecuado para dejar de voltear los huevos es a partir del día 16. Las pérdidas en incubabilidad son menores si esto se efectúa entre los días 13 y 19. Si se dejan de voltear los huevos antes del día 13 o se continúa después del día 19, habrán mayores pérdidas.

Los huevos deben rotarse de lado a lado entre 40 - 60° para cada dirección, con la parte ancha del huevo hacia arriba (donde existe la cámara de aire por donde picará el polluelo). No parece haber ningún beneficio del volteado multilateral.

Si los huevos son colocados con el extremo pequeño hacia arriba y el extremo grande hacia abajo, los embriones, con

pocas excepciones, morirán antes que el pollito pueda romper el cascarón. El contenido del huevo está tan bien organizado que la cabeza del embrión asume la posición hacia arriba en el huevo sin importar que extremo del mismo esté hacia arriba. La celda de aire, con contadas excepciones, se forma en el extremo grande del huevo. Por lo tanto, si el extremo pequeño del huevo está hacia arriba en la bandeja, la cabeza del pollito estará en el lado opuesto a la celda de aire.

Consejos útiles en la incubación artificial

- Los huevos deben estar limpios y libres de bacterias.
- Los huevos deben mantenerse fríos desde el momento de su recolección hasta ser colocados en la incubadora. Cualquier incremento en la temperatura (ej: 80°F o 26,6°C en las gallinas) ayudará a un verdadero desarrollo embriónico. Si llegara alguna vez a esta temperatura, no deben ser enfriados nuevamente pues los embriones en desarrollo pueden ser aniquilados.
- Al almacenar los huevos debe mantenerse una humedad relativa entre 75 y 80%.
- Es aconsejable no almacenar los huevos más de 7 u 8 días, ya que a partir de este tiempo la incubabilidad va disminuyendo paulatinamente.
- Se debe rechazar como huevos no aptos para incubación a huevos quebrados o rotos por más pequeña que esta rotura sea; esto puede detectarse por tanteo o a la luz de una

vela. También se debe rechazar los huevos con cascarones muy finos, que no soporten una vibración considerable.

- Los embriones toman calcio del cascarón para el desarrollo del esqueleto, por lo tanto los cascarones se debilitarán conforme el período de incubación avanza, por eso es necesario tener mucho cuidado al manejarlos o moverlos especialmente al final de la incubación.

1.3 TEMPERATURA Y HUMEDAD: CONCEPTOS Y TEORIA GENERAL

El propósito de este numeral es el de familiarizar al lector y al autor, con los conceptos que serán parte integral del problema a resolverse.

Acondicionar el aire es controlar su temperatura, humedad, distribución y pureza.

La atmósfera que rodea la Tierra es una mezcla de gases cuya composición es:

Gas	Volumen en %	Peso en %
Nitrógeno	78,1	76,0
Oxígeno	20,9	23,1
Argón	1,0	0,9

Estos datos se refieren al aire seco, pero la humedad puede variar del 0% al 4%.

Humedad

HUMEDAD ABSOLUTA O DENSIDAD (d_v)

El peso de vapor de agua expresado en libras o granos por cada pie cúbico de espacio se llama "humedad absoluta" o "densidad del vapor de agua" y se representa como d_v cuando el aire no está saturado y como d_d cuando si lo está (1 libra = 7.000 granos).

HUMEDAD ESPECIFICA O RELACION DE HUMEDAD (W_v)

El peso de vapor de agua expresado en libras o granos por libra de aire seco se llama humedad específica; se representa como W_v cuando la mezcla no está saturada, y como W_d cuando si lo está.

HUMEDAD RELATIVA (ϕ)

La humedad relativa se define como la relación de la presión parcial del vapor en el aire con la presión de saturación del vapor correspondiente a la temperatura existente. O bien, es la relación de la densidad del vapor de agua en el aire con la densidad de saturación a la temperatura correspondiente.

$$\phi = \left(\frac{P_v}{P_d} \right) \times 100 = \left(\frac{d_v}{d_d} \right) \times 100$$

en donde:

P_v = presión parcial del vapor de agua

d_v = densidad existente del vapor de agua

P_d = presión de saturación del vapor de agua

d_d = densidad del vapor saturado

Variación de la humedad relativa

a) La humedad relativa se puede aumentar de las siguientes formas:

- 1) Reduciendo la temperatura, sin variar la humedad absoluta
- 2) Aumentando la humedad absoluta sin variar la temperatura

b) La humedad relativa se puede disminuir de las siguientes formas:

- 1) Aumentando la temperatura, sin variar la humedad absoluta
- 2) Disminuyendo la humedad absoluta sin variar la temperatura

Temperatura

La temperatura de un cuerpo es una magnitud proporcional a la energía media de las moléculas que lo constituyen. La temperatura de un cuerpo es independiente de su masa porque sólo depende de la velocidad (energía cinética) y la masa (energía potencial) de cada una de sus moléculas.

Para la medición de la temperatura existen varias escalas, las más usadas son la escala Centígrada y la escala Fahrenheit.

TEMPERATURA DE ROCIO (t_w)

La temperatura de rocío indica la cantidad de humedad contenida en el aire. Es la temperatura a la cual el aire se satura cuando se enfría, suponiendo que no hay aumento ni disminución de humedad. La temperatura de rocío no se

puede cambiar, si no se aumenta o disminuye la humedad del aire, aunque se aumente o disminuya el calor.

Si el aire se enfría a una temperatura menor que la del rocío, empieza la condensación y se establece una nueva temperatura de rocío. La temperatura de rocío se puede disminuir, substrayendo humedad el aire, y se puede aumentar añadiendo vapor de agua a un peso dado de aire.

Si un aire saturado a 70°F se enfría a 65°F, se dice que hay 5°F de precipitación y quedará aire a una temperatura de rocío de 65°F, saturado también. Si ese mismo aire se calienta a 70°F, el punto de rocío permanece en 65°F.

1.4 DETERMINACION DEL PROBLEMA

En conclusión, el equipo ha diseñarse para reproducir artificialmente el proceso de incubación de los huevos de aves, debe cumplir con las siguientes funciones:

- Controlar la temperatura de incubación entre 30 a 38°C. Siendo la temperatura más adecuada en gran parte del período de incubación y para la mayoría de aves de 37,0°C.
- Obtener una humedad relativa del aire entre 50 a 60%
- Realizar el volteo de huevos de diferentes tamaños, de lado a lado entre 40 a 60°, con el extremo más ancho hacia arriba, y con una frecuencia de hasta 96 volteos por día.
- Permitir una aireación adecuada.

CAPITULO 2

DISEÑO DEL HARDWARE Y CONSTRUCCION

Para el diseño de la incubadora de huevos de aves controlada electrónicamente, se necesita diseñar y construir en primer lugar, el ambiente mismo dónde se cumplirán las condiciones de temperatura, humedad, ventilación y volteo de los huevos; indispensables para una correcta incubación. Los numerales 1 y 2 que a continuación se explican, tratan sobre el diseño y construcción de este ambiente y de la parte mecánica involucrada. Más adelante se cubren los detalles del diseño de los circuitos electrónicos de soporte y de control.

2.1 DISEÑO DEL MODULO METALICO Y CUPULA

El módulo metálico y la cúpula de acrílico han sido diseñados tomando como modelo la incubadora para recién nacidos de la compañía Air Shields.

El especialísimo sistema de circulación de aire de la incubadora hace posible la regulación precisa de la temperatura y la humedad, así como permite el ingreso de aire exterior fresco. El aire entra al modelo a través de una abertura protegida por un filtro ubicada en la parte posterior. El aire se calienta hasta la temperatura apropiada, a medida que pasa por un elemento de calefacción. La humedad se obtiene haciendo pasar parte del aire sobre la superficie del agua que contiene un depósito.

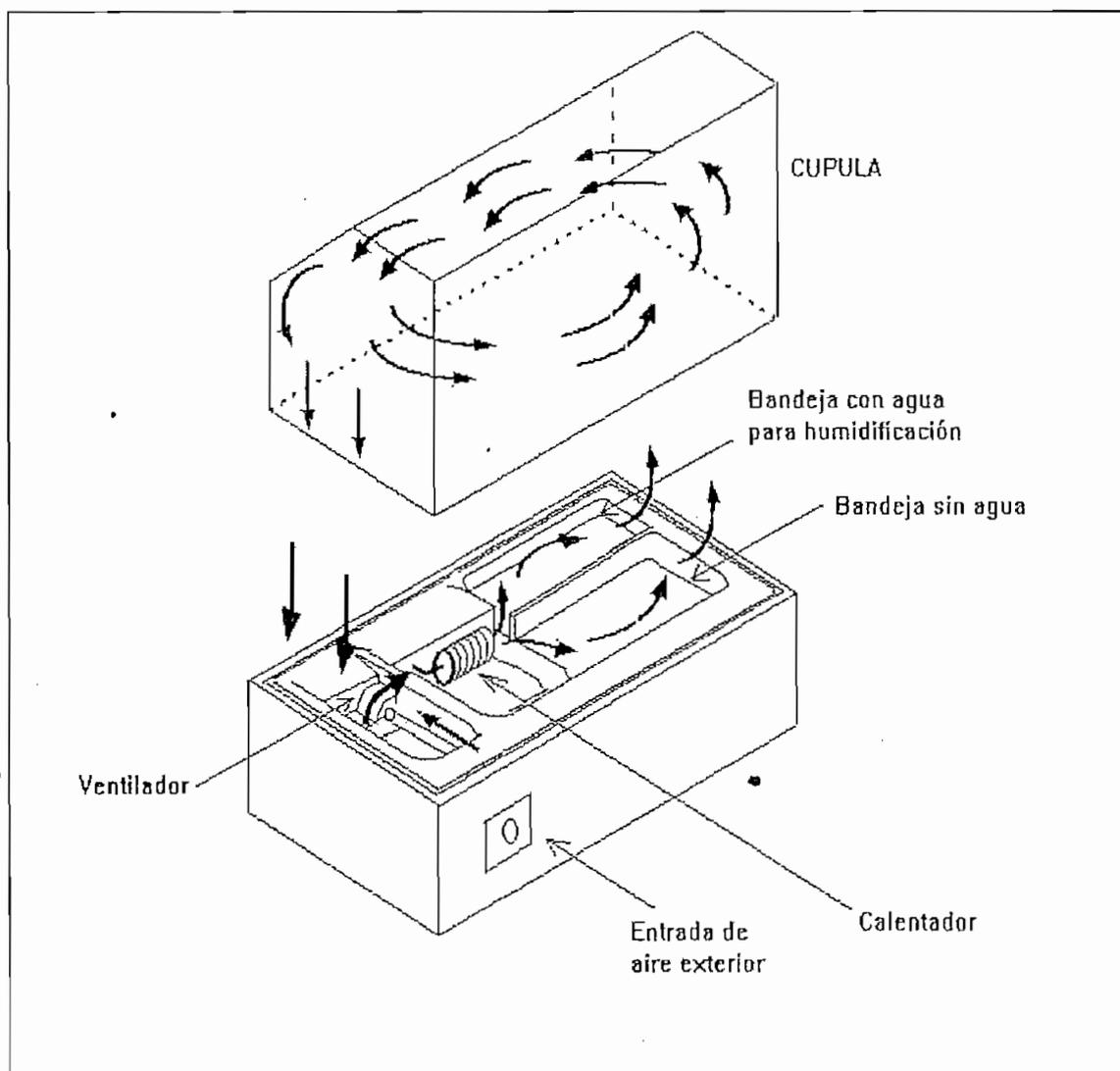


FIGURA 2.1 Circulación del aire en la incubadora

El aire que entra al interior de la cubierta o cúpula, se distribuye uniformemente sobre la plataforma en la cual yaceñ los huevos, y luego se desvía hacia el lado inferior, pasando sobre el sensor mediante el cual la temperatura es constantemente vigilada y regulada.

Se puede apreciar en la Figura 2.1 que el aire que pasa a través del calentador viene de dos partes diferentes: el aire fresco que ingresa a través de la orificio posterior y el aire de recirculación que viene desde la cúpula hacia el interior del módulo metálico. Luego de pasar por el elemento de calefacción, el aire toma dos rumbos: uno a través de una superficie de agua para la humidificación y otro a través de una superficie seca. El objetivo de esto es poder obtener distintas humedades relativas.

En la parte superior de la cúpula se encuentra un termómetro de mercurio el cual servirá como una referencia de comparación con la temperatura medida electrónicamente a través del sensor.

Para facilitar la introducción del huevo incubable el diseño permite que la cúpula se pueda levantar; además, se tiene una ventanilla frontal la cual se puede abrir y cerrar sin dificultad. La leve presión que se mantiene en el interior de la cúpula evita que penetre el aire exterior cuando se abre por un momento esta ventanilla. El módulo metálico finalmente se protegió contra la oxidación con 2 capas de pintura anti-oxidante, y la cúpula se hizo en acrílico transparente.

Las medidas del espacio en el que la temperatura es controlada (interior de la cúpula) son: 80cm. de ancho, 40cm. de profundidad y 30cm. de altura. Estas dimensiones han sido tomadas, como ya se mencionó, con el objetivo de que al nacer el polluelo, éste pueda continuar en un ambiente a una temperatura adecuada hasta que pueda ser transportado a otro sitio.

También esta incubadora puede ser usada como un espacio de ambientación de cierto tipo de aves pequeñas de clima cálido, lo que será de gran utilidad para aves que deban ser transportadas desde su lugar de origen hacia el zoológico.

2.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE MOVIMIENTO DE LOS HUEVOS DE AVES

Para el movimiento de los huevos se ha diseñado un sistema construido en madera, protegido contra la humedad con sellador y luego dado un acabado en barniz. El sistema tiene una bandeja en la cual se pueden colocar hasta 11 huevos de varios tamaños (ver agujeros en la bandeja de la Figura 2.2). Los huevos serán colocados en forma vertical con la parte más ancha hacia arriba. Esta bandeja tendrá la capacidad de inclinarse hacia uno y otro lado aproximadamente 45° ; para poder realizar este movimiento se ha diseñado un sistema basado en un tornillo o perno, el cual al girar hará que una tuerca suba o baje dependiendo del sentido en el que el motor gire. A esta tuerca va unida una biela que es la que en realidad desplaza la bandeja.

El motor usado es un motor de pasos; este motor es un dispositivo que convierte pulsos eléctricos en movimientos discretos (pasos) de rotación mecánica. Con este sistema de movimiento el torque del motor de pasos necesario para mover la bandeja es muy pequeño, siendo cubierto con demasía por el motor de pasos utilizado.

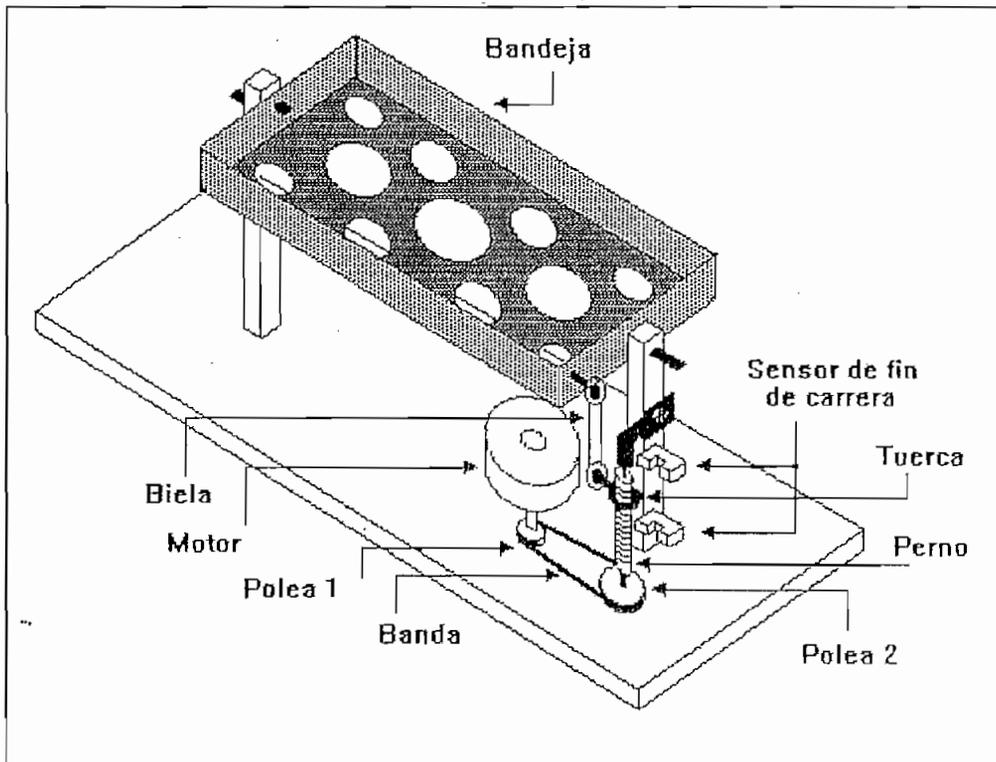


FIGURA 2.2 Sistema de movimiento de los huevos

Al eje del motor de pasos se encuentra unida una polea (polea 1 en la Figura 2.2), la cual mediante una banda (correa sin fin en modo abierto) transmite el movimiento a la polea 2, la cual girará en el mismo sentido que la polea 1. El motor de pasos necesita de 24 pasos para completar una revolución de la polea 1; ya que la polea 2 es de un diámetro mayor se necesita de aproximadamente 78 pasos para dar una vuelta completa.

A esta polea 2 se ha acoplado un perno de un adecuado diámetro para dar la solidez mecánica necesaria. El movimiento se logra cuando el perno gira, desplazando una tuerca la cual sube o baja unos 8cm entre las posiciones extremas (aproximadamente 75 vueltas del perno); una biela (barra con movimiento en sus 2 extremos) unida a esta tuerca es la encargada de inclinar la bandeja hacia uno u otro lado.

El perno está sujeto en su parte inferior por un sistema hecho a base de un rulimán, y en la parte superior mediante un bocín evitando que el perno pueda cabecear, y también reduciendo el rozamiento al mínimo. Asimismo los extremos de la biela poseen sendos acoplamientos realizados en base a rulimanes para lograr el movimiento necesario.

También como se puede ver en la Figura 2.2 existen 2 sensores de fin de carrera que indican el momento en que la inclinación de la bandeja es la adecuada y detener el motor de pasos. En caso de que estos sensores fallen, el sistema ha provisto un desplazamiento extra luego de lo cual la tuerca no podrá subir o bajar más, sin causar mayor daño al motor, puesto que por software existe un número máximo de veces que se excitarán las bobinas del motor. Además, si existe alguna traba en el movimiento, la banda o correa patina, es decir, se desplaza sin producir movimiento en la polea 2, evitando que el motor sufra algún daño.

Para mover completamente desde un extremo hacia el otro la bandeja, el número de pasos total del motor es:

$$\# \text{ pasos total} = 78 \frac{\text{pasos}}{\text{vuelta}} \times 75 \text{ vueltas} = 5850 \text{ pasos}$$

Con este sistema se consigue un movimiento en la bandeja lento y sin brusquedad, indispensable para una correcta incubación.

2.3 DISEÑO DE LOS CIRCUITOS ELECTRONICOS

Después de haber diseñado el ambiente apropiado para la incubación de huevos de aves, es necesario diseñar los circuitos electrónicos. La Figura 2.3 explica en un diagrama modular, las funciones a cumplir por los circuitos electrónicos.

Mediante el módulo "Ingreso del valor de la temperatura de referencia", se puede ingresar el valor de la temperatura que se desea al interior de la incubadora. El rango en el que puede variarse la temperatura de referencia, es de 30 a 38°C.

La temperatura al interior de la incubadora es sensada en el módulo "Medición de la temperatura al interior de la incubadora"; esta señal necesita ser acondicionada a valores adecuados en el módulo de "Acondicionamiento de la señal", para luego ser digitalizada en el módulo de "Conversión A/D". Se debe tener en cuenta que el rango de medición de la temperatura será de 15,0 a 40,5°C.

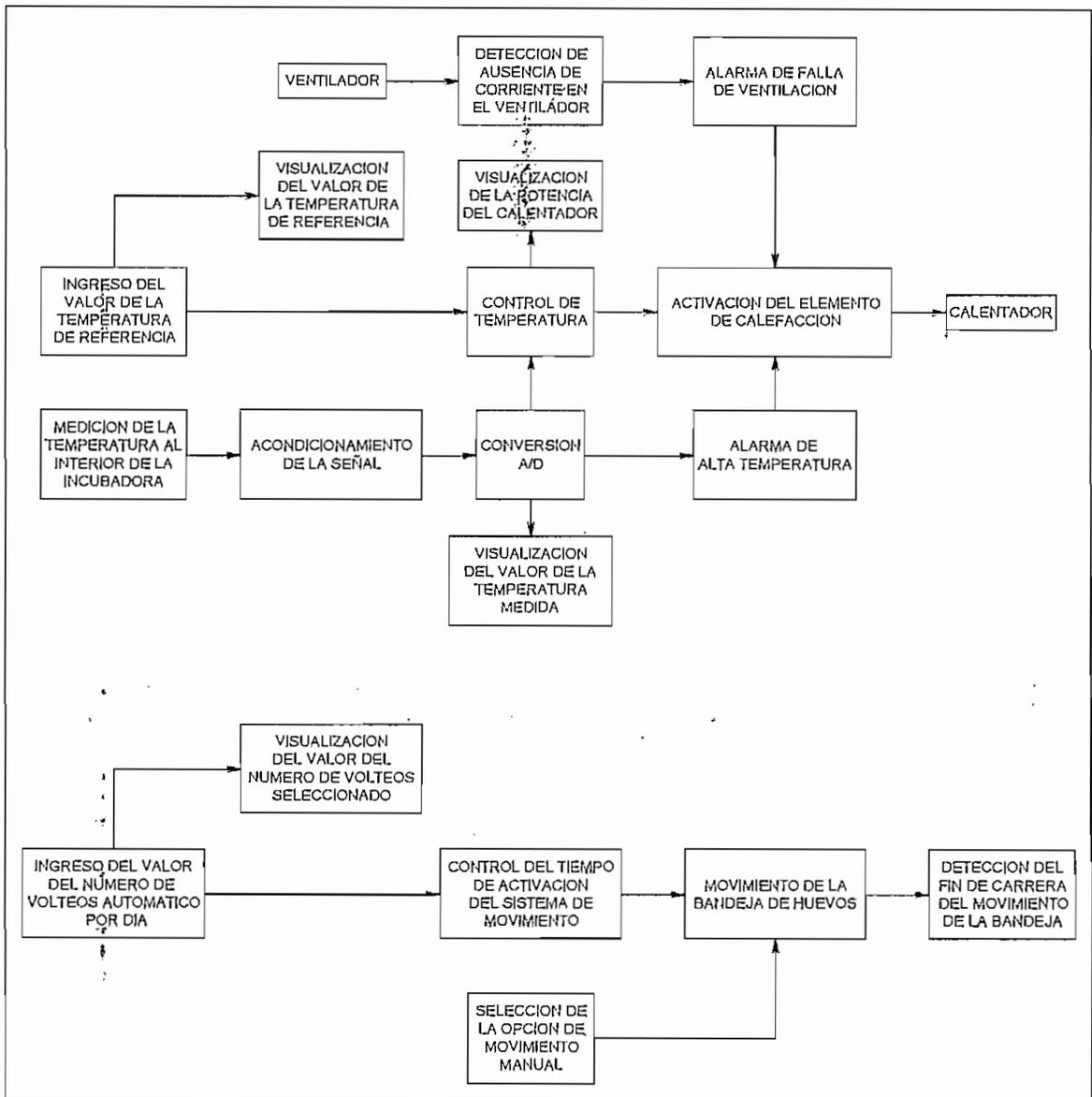


FIGURA 2.3 DIAGRAMA MODULAR DE LAS FUNCIONES QUE REALIZARAN LOS CIRCUITOS ELECTRONICOS

El control de temperatura es realizado en el módulo del mismo nombre, en base a los valores de la temperatura medida y la temperatura de referencia. Este módulo a través del módulo de "Activación del elemento de calefacción" controla la potencia entregada al "Calentador"; esta potencia es indicada a través del módulo de "Visualización de la potencia del calentador".

El módulo "Ventilador" se refiere al motor de corriente alterna, que mueve al ventilador para la circulación del aire a través del calentador. Este ventilador debe estar funcionando siempre; por lo tanto el módulo de "Detección de ausencia de corriente en el ventilador", se encarga de verificar que exista corriente circulando por el motor. Si se detecta la ausencia de corriente en el ventilador, el módulo de "Alarma de falla de ventilación" informa visual y auditivamente de la situación; y también, de igual manera a cuando se produce una alarma de alta temperatura, la potencia entregada al módulo del "Calentador" es cero.

La bandeja de huevos puede moverse automáticamente cada cierto tiempo (Número de volteos por día), este tiempo puede ser variado mediante el módulo de "Ingreso del valor del número de volteos automático por día", cuyo rango es de 0 a 96 volteos por día.

Con el valor del número de volteos por día, el módulo de "Control del tiempo de activación del sistema de movimiento" determina el momento exacto, en el que el módulo de "Movimiento de la bandeja de huevos" realizará el volteo de ésta. Este movimiento o volteo, se producirá hasta que el módulo de "Detección del fin de carrera del movimiento de la bandeja" señale que la inclinación es la adecuada.

El módulo de "Selección de la opción de movimiento manual", permite realizar el volteo de la bandeja, independientemente del volteo automático.

Los módulos de "Visualización", son los encargados de informar el valor de la temperatura medida y la temperatura de referencia en grados centígrados; y del número de volteos por día.

2.3.1 TARJETA MCPD51

El circuito de control de la incubadora tiene como parte principal la tarjeta MCPD51, Módulo Central de Procesamiento Digital basado en este caso en el microcontrolador Intel 8751. Esta tarjeta, en este trabajo, realiza las funciones correspondientes a los módulos (Figura 2.3) de: "Control de Temperatura", "Conversión A/D" y "Control del tiempo de activación del sistema de movimiento". Además está involucrada en forma parcial en la realización de las funciones de casi todos los módulos.

En el Anexo 1 se explica las características de esta tarjeta. La tarjeta almacena en una memoria EPROM (2732) el software necesario para que el microcontrolador Intel 8751, a través de sus diferentes líneas, y el uso de ésta y otras tarjetas, cumpla a cabalidad con la realización de las funciones propuestas.

Esta tarjeta posee además un conversor A/D de 8 bits, que en el presente trabajo se empleó para la digitalización de la señal acondicionada que viene desde el sensor de temperatura.

La tarjeta MCPD51 tiene seis conectores (H1 a H6) a través de los cuales entrega y recibe señales y datos. Las señales utilizadas de esta tarjeta, y la función a ellas encomendada; se explica a continuación:

A/D: Recibe la señal acondicionada del sensor de temperatura y la envía hacia el conversor A/D interno.

P1.3: Activación del Calentador.

EXINT1: Activación del Calentador.

EXT-INT6: Detección de ausencia de corriente en el ventilador.

OUT14: Activación del parlante (Alarma auditiva).

EXT-INT0: Movimiento manual de la bandeja de huevos.

EXT-INT1: Subir la temperatura de referencia en 0,1°C o el número de volteos en 12 volteos/día.

EXT-INT2: Bajar la temperatura de referencia en 0,1°C o el número de volteos en 12 volteos/día.

INP0: Selección de la visualización de la temperatura o el número de volteos.

OUT8: Usada para indicar en forma visual la alarma de mal funcionamiento del ventilador.

OUT9: Usada para indicar en forma visual la alarma de alta temperatura

SW0, SW1: Detección del fin de carrera del movimiento de la bandeja.

OUT0...OUT4: Visualización de la temperatura o el número de volteos.

P1.0...P1.2: Visualización de la temperatura o el número de volteos.

OUT10...OUT13: Indicación en forma visual de la potencia del calentador.

P1.4...P1.7: Movimiento de la bandeja de huevos
(Activación de las bobinas del motor de
pasos);

2.3.2 DISEÑO DEL CALENTADOR

Corresponde al módulo "Calentador" en la Figura 2.3. El calentador incrementa la temperatura del flujo de aire que pasa por él.

El elemento tubular, el cual es doblado en forma espiral para formar al calentador (heater), de acuerdo a las dimensiones y potencia requeridas, se encuentra construido en base a la Figura 2.4, cuyas partes son:

- Cable resistor de níquel-cromo de forma helicoidal: Contiene aproximadamente 80% de níquel y 20% de cromo y es el corazón del calentador. Esta resistencia es la que proporciona el calor, de acuerdo a la potencia para la cual fue diseñada.
- Aislamiento de óxido de magnesio
- Coraza de acero inoxidable
- Los terminales de conexión

La resistencia de níquel-cromo se encuentra solamente en la parte en la cual se necesita calor y no en las secciones donde el calor no es necesario sino perjudicial como es en los terminales.

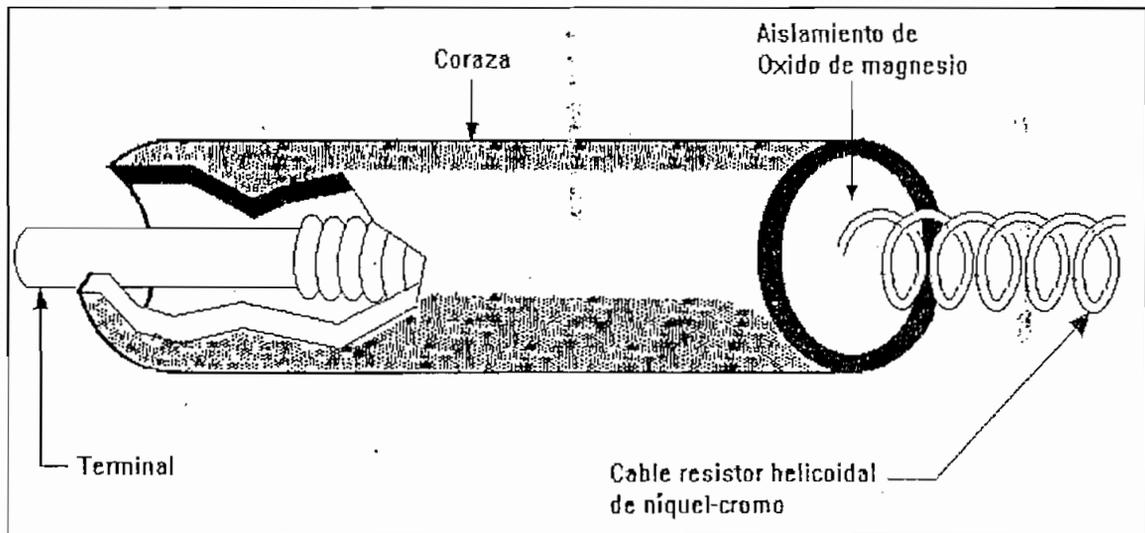


FIGURA 2.4 Construcción de un calentador tubular

CALCULO DE LA POTENCIA DEL CALENTADOR:

Para poder calcular la potencia del calentador es necesario calcular el flujo del aire que pasará por éste, el cual se calcula de la siguiente manera:

Considerando a la incubadora como un paralelepípedo de dimensiones:

Base: Ancho = 40 cm.

Largo = 80 cm.

Altura = 30 cm.

El volumen de un paralelepípedo es:

$V = \text{Superficie de la base} \times \text{Altura}$

$$V = 40 \times 80 \times 30 = 96.000 \text{cm}^3 \times \frac{1 \text{pie}^3}{(30,48 \text{cm})^3} = 3,39 \text{pies}^3$$

Con el objeto de mantener una temperatura uniforme en toda la incubadora es necesario que exista una circulación del aire; la cual es proporcionada por un motor actuando como ventilador. Se considera en estos diseños como adecuada una recirculación del aire de 2 veces por minuto. Tomando como base este dato, se procede al cálculo del flujo de aire (cfm = pies³/min), así:

$$\text{cfm} = 3,39 \text{ pies}^3 \times \frac{2 \text{ veces}}{\text{min}} = 6,78 \frac{\text{pies}^3}{\text{min}}$$

Una manera de calcular la potencia del calentador (Manual OMEGA, "The Electric Heaters Handbook") es la siguiente:

$$\boxed{\text{kW} = \frac{\text{cfm} \times \Delta T}{3000}}$$

donde: ΔT es la elevación de temperatura, en °F
 kW es la potencia del calentador a calcular
 3000 factor de conversión de unidades

$\Delta T = 30^\circ\text{C}$ o 86°F aproximadamente en el peor de los casos

Por lo tanto:

$$\text{kW} = \frac{6,78 \frac{\text{pies}^3}{\text{min}} \times 86^\circ\text{F}}{3000} = 0.194$$

El calentador tendrá entonces, una potencia de 194 W. El voltaje es de 110V, en consecuencia el valor de la resistencia del calentador es de:

$$P = V^2/R, \text{ de donde:}$$

$$R = V^2/P = 110^2/194 = 62,4\Omega$$

2.3.3 CIRCUITO DE CONTROL DEL CALENTADOR

Este circuito forma parte del módulo de "Activación del elemento de calefacción" (Figura 2.3). El circuito, es un control de fase directo (Figura 2.5) actuando sobre el calentador, donde el ángulo de activación puede controlarse al variar el tiempo que transcurre desde el cruce por cero del voltaje AC hasta que se da el pulso de activación a un triac.

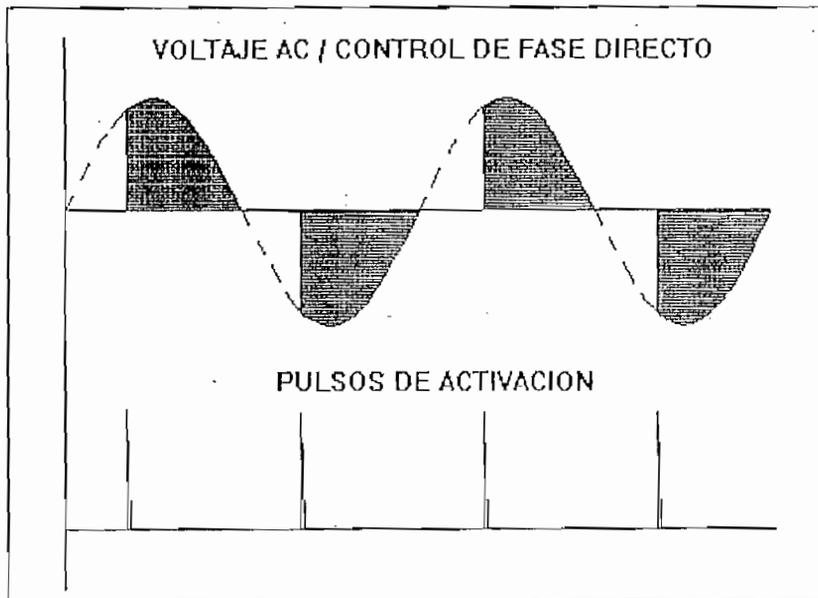


FIGURA 2.5 Control de fase directo

El circuito mostrado en la Figura 2.6 utiliza un triac como elemento activo, debido a que la corriente sobre la carga (calentador) es bidireccional.

Debido a que la carga es puramente resistiva, no existe necesidad de controlar el apagado del triac, ya que el triac lo hace automáticamente, cuando la corriente es igual a cero.

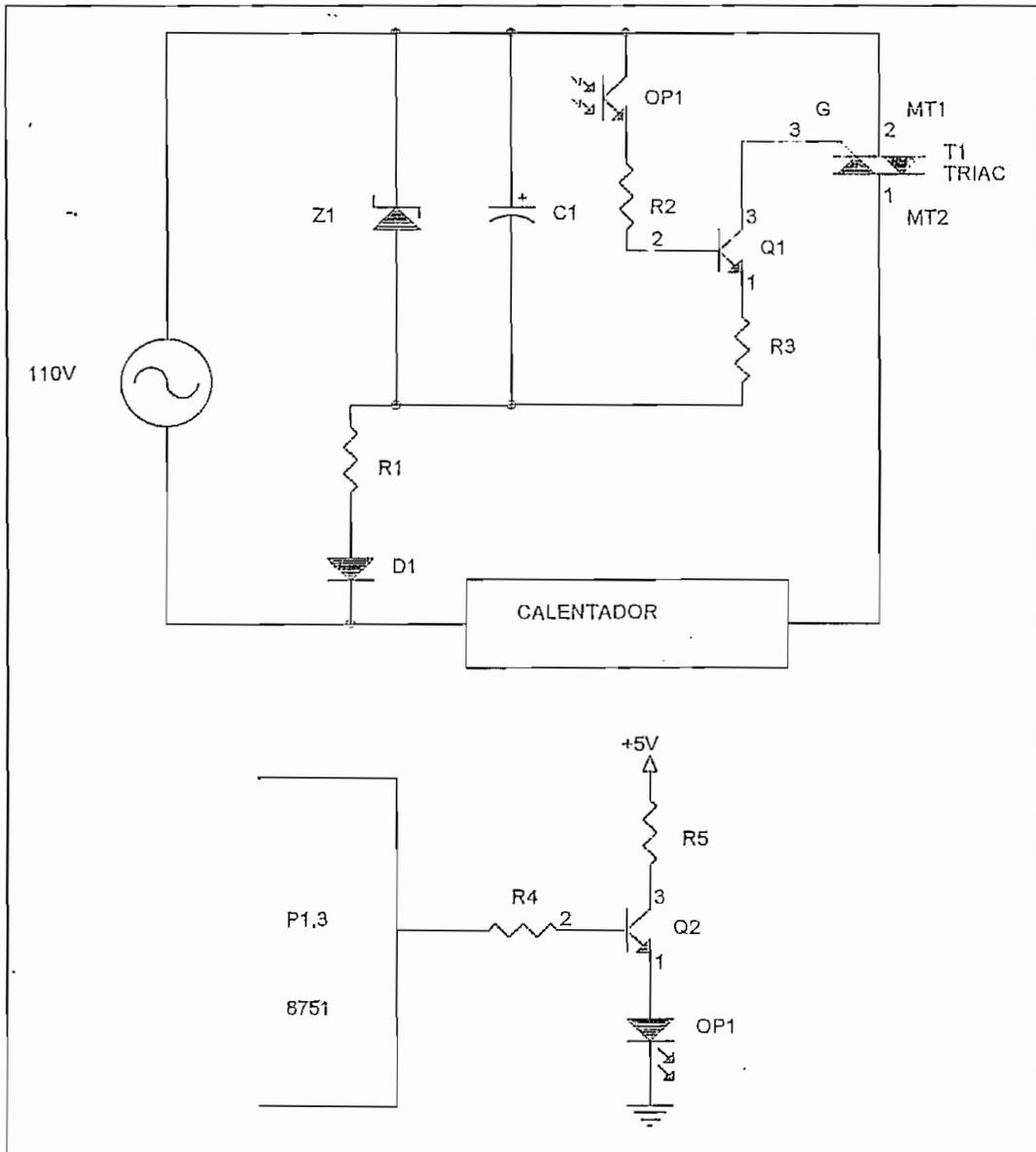


FIGURA 2.6 Circuito de activación del triac

COMPONENTES DEL CIRCUITO:

- D1: Diodo 1N5407
- R1: Resistencia 6,8K Ω 7W
- Z1: Zener de 15V, 1N4744
- OP1: Optoacoplador PC817
- R2: Resistencia 100 Ω 1/4 W
- Q1: Transistor NPN 2N3904
- R3: Resistencia 330 Ω 1/4 W

T1: Triac NTE 5635
 C1: Capacitor 470uF 25V
 R4: Resistencia 8,2K Ω 1/4W
 R5: Resistencia 470 Ω 1/4W
 Q2: Transistor NPN 2N3904

La red compuesta por D1, R1, Z1 y C1 a partir de 110V rectifican la señal alterna y obtiene 15V de voltaje continuo; esta red se utiliza debido a que el optoaislador OP1 y el transistor Q1 son elementos de corriente unidireccional.

El optoaislador OP1 es el encargado de cerrar o no el circuito, y su transistor se satura cuando un pulso de activación proveniente del microcontrolador a través del pin 3 del p \acute{o} rtico P1 (pin 17 del conector H1 de la tarjeta MCPD51), es dado al diodo que es parte del chip del optoaislador. El optoaislador es usado como aislamiento entre el circuito de potencia del calentador y el circuito de control. Cuando OP1 se satura, hace que Q1 tambi \acute{e} n se sature, dando paso a una corriente en la compuerta del triac, que lo activa.

CALCULO DE LOS ELEMENTOS DEL CIRCUITO:

La corriente m \acute{a} xima sobre la carga (calentador, cuya resistencia es 62,4 Ω) es de:

$$I_{max} = \frac{\sqrt{2} \times 110V}{62,4\Omega} = 2,49A$$

Se escoge el triac NTE5635 cuyas especificaciones son:

$$\begin{aligned} V_{DRM} &= 400V & I_{GT} &= 50mA \\ I_{TRMS} &= 10 \text{ A Max} & V_{GT} &= 2,5V \\ I_H &= 50 \text{ mA} \end{aligned}$$

Sea una $I_{GT} = 50 \text{ mA}$ y sea Q1 el 2N3904 cuya $I_c \text{ max} = 0,6 \text{ A}$.
Asumiendo un β en saturación de 10 se tiene:

$$I_B = \frac{I_c}{\beta} = \frac{50mA}{10} = 5mA$$

$$\text{Por lo tanto: } I = I_B + I_c = 55 \text{ mA}$$

Sea Z1 el 1N4744 un diodo zener de 15V. En el circuito formado por Z1 y C1 se desea un rizado del 5% en 8,33ms., es decir $\Delta V = 0,75V$, ya que $V_{Z1} = 15V$

$$I = C_1 \times \frac{\Delta V}{\Delta t} \Rightarrow C_1 = \frac{55mA \times 8,33ms}{0,75V} = 610,8 \mu F$$

Sea C1: Capacitor 470uF 25V

NOTA: Los valores calculados de resistencias y capacitores, se han aproximado a valores normalizados o estándares, que se pueden obtener sin dificultad en el mercado.

El diodo D1 realiza una rectificación de media onda. La resistencia R1 limita la corriente por el zener Z1; asumiendo una corriente media en el zener de 10mA, se puede encontrar el valor aproximado de R1:

$$R_1 \approx \frac{V_{medio}}{I_z} = \frac{\sqrt{2} \times 110 - 15}{10mA} = 4,47K\Omega$$

Se coloca una resistencia de 6,8 K Ω . La potencia sobre esta resistencia es:

$$P_{R1} = \frac{(V_{RMS(R1)})^2}{R_1} = \frac{\left(\frac{\sqrt{2}}{2} \times 110 - 15\right)^2}{6,8K\Omega} = 0,73W$$

Es aconsejable sobredimensionar el valor de esta resistencia. Experimentalmente se verificó que existe un cierto calentamiento debido a los pulsos de corriente de 50mA que pasan por Q1 (cuando se activa el triac a través de su compuerta); por lo que se colocó la resistencia de 6,8K Ω de 7W de potencia.

R₃ se usa para limitar la corriente cuando Q1 se satura:

Sea $V_{GA1} = 1V$ y $V_{EC,Q1 SAT} = 0,2V$, se tiene que:

$$V_{R3} = 15 - 1 - 0,2 = 13,8 \Rightarrow R_3 = \frac{13,8V}{50mA} = 276\Omega$$

$$\text{Sea } R_3 = 330\Omega \quad \frac{1}{4} \text{ W}$$

La resistencia R2 se calcula tomando en cuenta que $I_{R2} = I_B = 5mA$; por lo tanto:

$$R_2 = \frac{15 - V_{CE(OP1)} - V_{BE(Q1)} - V_{R3}}{5mA} = \frac{15 - 0,2 - 0,6 - 13,8}{5mA} = 80\Omega$$

$$\text{Sea } R_2 = 100\Omega \quad \frac{1}{4} \text{ W}$$

En el circuito desde el microcontrolador hacia el diodo del optoaislador OP1 se tiene:

Sea una corriente a través del diodo OP1 de 8mA, se coloca un transistor Q2 cuya $I_{cm\acute{a}x}$ es 0,6A. Para limitar la corriente cuando Q2 se satura se coloca una resistencia R5:

$$R_5 = \frac{5 - V_D - V_{CE}}{8mA} = \frac{5 - 1,2 - 0,2}{8mA} = 450\Omega$$

$$\text{Sea } R_5 = 470\Omega \quad \frac{1}{4} \text{ W}$$

Sea un β en saturación de 20, entonces la corriente de base es aproximadamente de 0.4mA. Por lo tanto, la resistencia R4, usada para limitar la corriente de base cuando Q2 se satura es:

$$R_4 = \frac{5 - 0,6 - 1,2}{0,4mA} = 8K\Omega$$

$$\text{Sea } R_4 = 8,2K\Omega \quad \frac{1}{4} \text{ W}$$

2.3.4 CIRCUITO DETECTOR DEL CRUCE POR CERO

Este circuito es el encargado de detectar los cruces por cero de la onda de voltaje AC y enviar esta información a la señal EXINT1 (Interrupción del microcontrolador, pin 13 del conector H1 de la tarjeta MCPD51). Este circuito, también forma parte del módulo de "Activación del elemento de calefacción" (Figura 2.3). La interrupción en el microcontrolador iniciará el TIMER 0, que es el encargado de señalar a que tiempo se dará el pulso de activación del triac en el pin P1.3. La Figura 2.7 muestra este circuito.

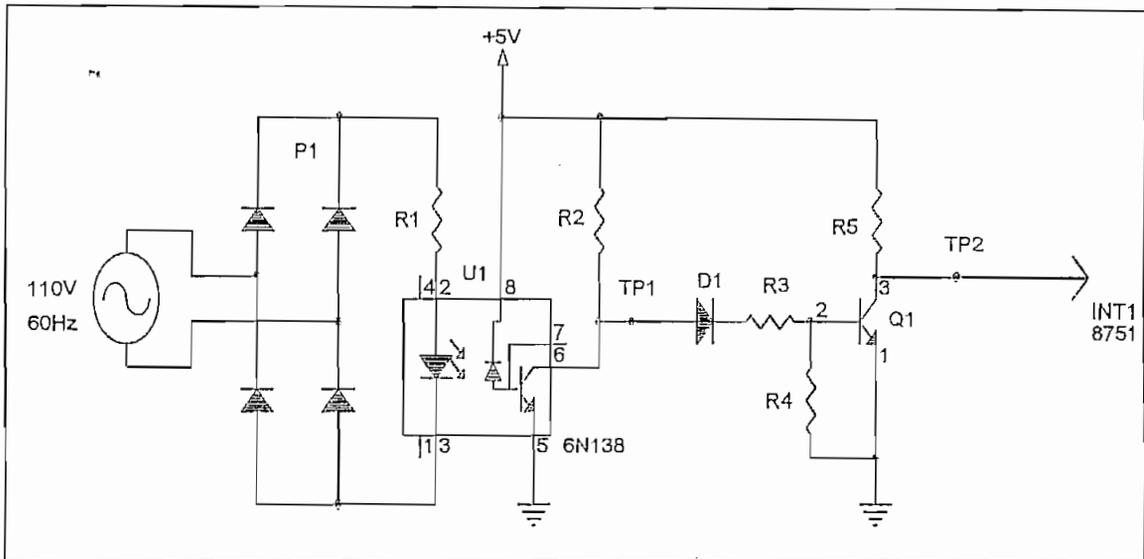


FIGURA 2.7 Circuito de detección del cruce por cero

COMPONENTES DEL CIRCUITO:

- D1: Diodo 1N4004
- R1: Resistencia 100K Ω 1/4W
- R2: Resistencia 10K Ω 1/4 W
- R3: Resistencia 180K Ω 1/4 W
- R4: Resistencia 470K Ω 1/4 W
- R5: Resistencia 3,3K Ω 1/4 W
- U1: Optoaislador NPN, 6N138
- P1: Puente rectificador, ECG5304
- Q1: Transistor NPN, PN2222A

En el circuito el puente P1 realiza una rectificación en onda completa, para que la corriente en el diodo parte de U1, sea unidireccional. U1 aísla el voltaje AC del circuito que va al microcontrolador.

El transistor parte del chip U1, está en el estado de saturación la mayoría del tiempo, excepto en los cruces por cero del voltaje AC, donde este transistor se abre. El

El transistor Q1 invierte esta señal ya que la interrupción del microcontrolador es en 0L y por borde negativo. La Figura 2.8 muestra las formas de onda de la señal en los puntos TP1 y TP2 ubicados en la Figura 2.7.

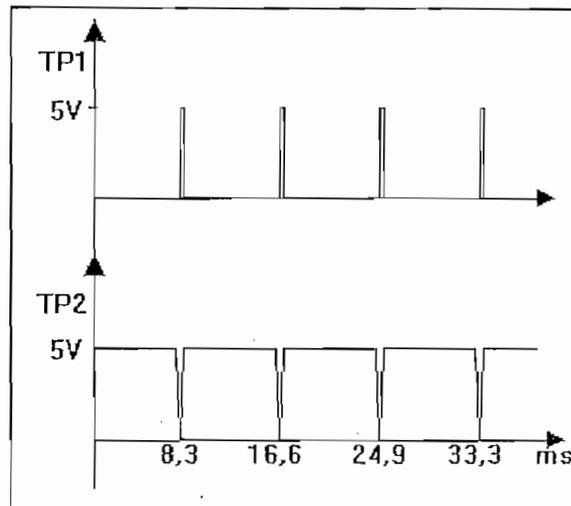


FIGURA 2.8 Formas de onda en los puntos TP1 y TP2

CALCULO DE LOS ELEMENTOS DEL CIRCUITO:

La corriente máxima directa por el diodo del chip de U1 es 20mA, sea una $R1 = 100K\Omega$, para limitar la corriente, por lo tanto se tiene:

$$I_{max} = \frac{\sqrt{2} \times 110}{100K\Omega} = 1,556mA$$

La corriente de salida máxima del transistor interno de U1 es 60mA. Si este transistor está en el estado de saturación (mayor parte del tiempo) y con una $R2 = 10K\Omega$, la corriente de salida I_o , será:

$$I_O = \frac{5 - V_{CE(U1)}}{10K\Omega} = \frac{5 - 0,2}{10K\Omega} = 0,48mA$$

La corriente máxima de salida en el colector de Q1 es 0,6A. Con Q1 en saturación ($V_{CE} = 0,2V$), y sea una $R_5 = 3,3K\Omega$, la corriente de colector en Q1 es:

$$I_{CQ1} = \frac{5 - 0,2}{3,3K\Omega} = 1,45mA$$

Sea en Q1 una $h_{FEmin} = 100$; entonces la corriente de base será de:

$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} = \frac{1,45mA}{100} = 14,5\mu A$$

Cuando el transistor de U1 está en corte, $I_{R2} = I_B$. En base a esta corriente y asumiendo que en la resistencia R2 cae un voltaje de 1V, se calcula el valor de R3:

$$R_3 = \frac{5 - V_{R2} - V_{D1} - V_{BEQ1}}{14,5\mu A} = \frac{5 - 1 - 0,6 - 0,6}{14,5\mu A} = 193K\Omega$$

Sea una $R_3 = 180K\Omega$; calculando el voltaje que cae en R2 se tiene:

$$V_{R2} = (5 - 0,6 - 0,6) \times \frac{10K\Omega}{180K\Omega} = 0,21V$$

Por lo tanto la corriente en la base de Q1 es de:

$$I_{BQ1} = \frac{5 - 0,21 - 0,6 - 0,6}{10K\Omega + 180K\Omega} = 18,9\mu A$$

Se ha colocado una resistencia R4 = 470K Ω para garantizar el estado de corte de Q1.

2.3.5 CIRCUITO DE ACTIVACION DEL PARLANTE

El parlante se activa en los siguientes casos:

- Al encender el equipo (inicialización)
- Alarma de Falla del ventilador de circulación de aire
- Alarma de alta temperatura al interior de la incubadora

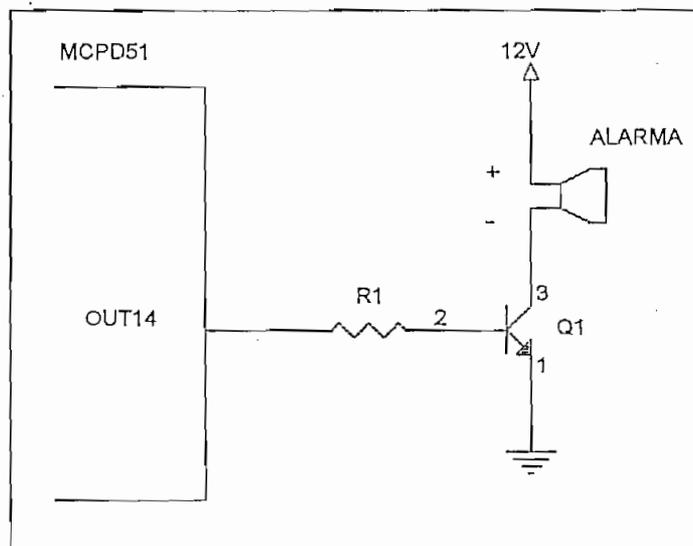


FIGURA 2.9 Circuito de activación de la alarma

COMPONENTES DEL CIRCUITO:

R1: Resistencia 68K Ω 1/4W

Q1: Transistor NPN ECG268

ALARMA: BLEEPTONE +12V

La salida Out14 (pin 8 del conector H2 de la tarjeta MCPD51) es la que a través del transistor Q1 controla la alarma. La Figura 2.9 muestra este circuito.

CALCULO DE LOS ELEMENTOS DEL CIRCUITO:

Al activarse la alarma, la corriente es de 6,6mA.

Sea Q1 el ECG268 un transistor Darlington cuya $I_{omax_{Q1}} = 2A$, y un $h_{FEmin} = 1000$; para garantizar la saturación de Q1 se toma un $h_{FE} = 100$, por lo tanto la corriente en la base de Q1 será:

$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} = \frac{6,6mA}{100} = 66\mu A$$

El valor de la resistencia R1, es de:

$$R_1 = \frac{5-0,6}{66\mu A} = 66,66K\Omega$$

Sea una resistencia R1 = 68K Ω

2.3.6 CIRCUITO DE DETECCION DE AUSENCIA DE CORRIENTE EN EL MOTOR

El motor del ventilador utilizado es un motor de corriente alterna de 0,47A y 1800rpm. Este ventilador realiza la función de la circulación del aire a través del calentador, por lo tanto, siempre debe estar funcionando. Este circuito detecta si existe una falla en el motor debido a una

sobrecorriente que abre el fusible de protección, o si existe una rotura en el devanado provocando que éste se pare y su corriente sea cero.

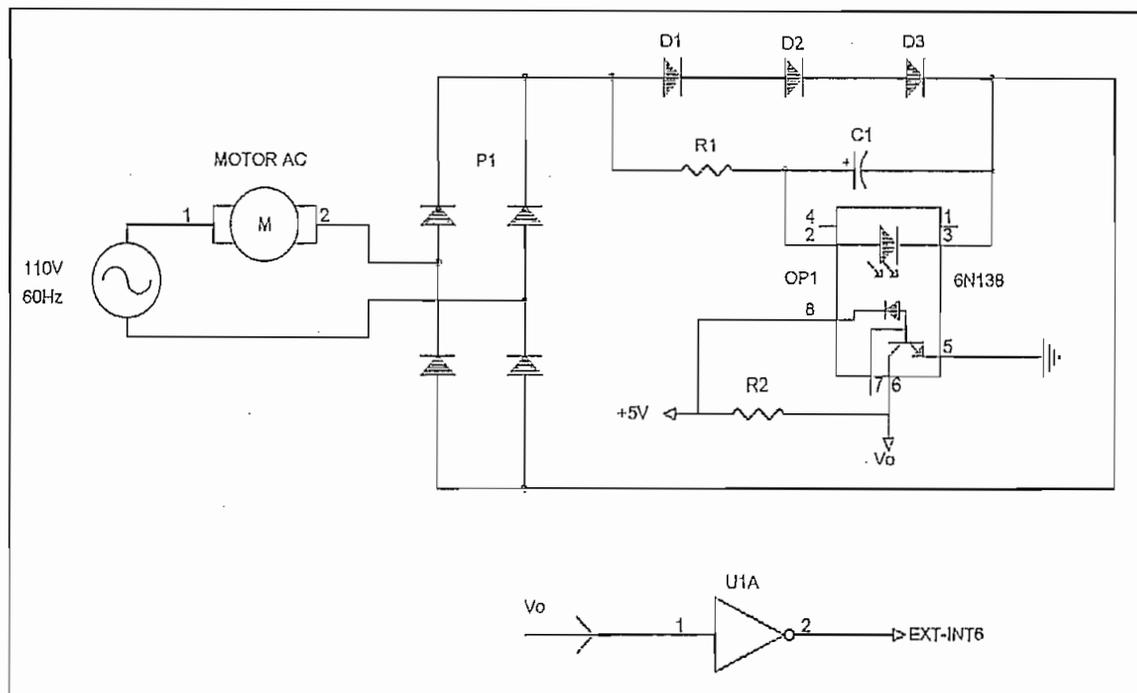


FIGURA 2.10 Circuito de detección de ausencia de corriente en el motor

COMPONENTES DEL CIRCUITO:

P1: Puente rectificador, ECG5304

D1, D2, D3: Diodos 1N4004

R1: Resistencia 100Ω 1/4W

C1: Capacitor 1uF 50V

R2: Resistencia 10KΩ 1/4W

OP1: Optoaislador NPN, 6N138

U1A: Inversor C.I. SN74HC14N

En el circuito se obtiene una señal de salida Vo en estado bajo 0L cuando el motor funciona apropiadamente, y se pone

en alto LL si la corriente que circula por éste es cero. Esta señal es luego invertida para ser enviada hacia la tarjeta MCPD51 a la línea EXT-INT6 (pin 10 del conector H6), el microcontrolador en caso de falla de este motor (falla de ventilación) desconecta el calentador, y activa la alarma en forma visual y auditiva (parlante).

Este circuito se muestra en la Figura 2.10, el puente P1 realiza una rectificación en onda completa; los diodos D1, D2 y D3 siempre conducen y en cada uno cae 0,6V dando en total 1,8V; que se utilizan para cargar el capacitor C1. El diodo de OP1 hace que el transistor de OP1 se sature siempre, y por lo tanto la señal de salida Vo es de 0V. En caso de producirse una falla en el motor, el transistor se abre y la señal de salida es 5V.

CALCULO DE LOS ELEMENTOS DEL CIRCUITO:

La corriente que circula por el motor es 0,47A; por lo tanto el puente P1 y los diodos D1, D2 y D3 escogidos deben soportar esta corriente. El voltaje que cae en los 3 diodos en serie es 1,8V; sea el voltaje de carga del capacitor igual a 1,5V en un tiempo de 0,2 ms; y sea el capacitor C1 de un valor de 1µF, por lo tanto R1 será de:

$$V_{\text{carga}} = 1,8 \times \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right)$$

$$\Rightarrow R_1 = \frac{-t}{C_1 \times \ln \left(1 - \frac{1,5}{1,8} \right)} = \frac{-0,2 \text{ms}}{1 \mu\text{F} \times \ln(0,166)} = 111,62 \Omega$$

Sea R1 = 100Ω 1/4W

La resistencia R_2 limita la corriente a $0,5\text{mA}$ cuando Q_1 se satura:

$$R_2 = \frac{5 - 0,2}{0,5\text{mA}} = 9,6\text{K}\Omega$$

Sea $R_2 = 10\text{K}\Omega$ $1/4\text{W}$

2.3.7 CIRCUITO ACONDICIONADOR DEL SENSOR DE TEMPERATURA

Es necesario acondicionar la señal de voltaje que se obtiene del sensor de temperatura usado, para que dicha señal esté entre 0 y 5V, los cuales irán al conversor A/D (pin 16 del conector H6) de la tarjeta MCPD51.

El sensor de temperatura usado es el LM335, el cual opera como un diodo zener cuyo voltaje de ruptura es directamente proporcional a la temperatura absoluta en una relación de $10\text{mV}/^\circ\text{K}$. Las características más importantes de este sensor son:

- Está directamente calibrado en grados Kelvin
- Rango de operación de -40°C a $+100^\circ\text{C}$
- Opera desde $400\mu\text{A}$ hasta 5mA (corriente de excitación)
- Impedancia dinámica menor a 1Ω
- Sobrerango de 200°C
- Bajo costo
- Fácilmente calibrado para mayor precisión, a través de un potenciómetro
- No linealidad máxima a $I_R = 1\text{mA}$ es $1,5^\circ\text{C}$

COMPONENTES DEL CIRCUITO:

U1: Amplificador operacional TL084CN
 U2: Sensor de temperatura LM335
 U3: Regulador de voltaje de 5V, LM7805
 R1: Resistencia $1K\Omega$ 1/4W
 R2: Potenciómetro $2K\Omega$
 R3: Potenciómetro $10K\Omega$
 R4: Resistencia $10K\Omega$ 1/4W
 R5, R6, R9: Resistencias $100K\Omega$ 1/4W
 R7, R8, R10: Resistencias $1M\Omega$ 1/4W
 R11: Resistencia $150K\Omega$ 1/4W
 R12: Potenciómetro $100K\Omega$
 R13: Resistencia 680Ω 1/4W
 Z1: NTE5010A, diodo zener 5,1V 1/2W

El circuito acondicionador del sensor de temperatura se muestra en la Figura 2.11. En el circuito, U1D y U1C están en configuración de seguidor de emisor, U1D del voltaje de entrada del sensor de temperatura y U1C del voltaje para la corrección del offset. El potenciómetro R3 se usa para obtener una mayor precisión del sensor, calibrándolo a una temperatura conocida (medida exactamente de otra manera).

U1A es usado como un amplificador y también para la corrección del offset restando 2,88V (para obtener 0V a $15^{\circ}C$). U1B es utilizado como un amplificador inversor. El zener Z1 se usa como protección, para no tener en el conversor A/D voltajes mayores a 5,1V y menores de 0V. El regulador de voltaje U3, se usa para fijar un voltaje de 5V; a partir del cual mediante un divisor de tensión se

obtiene el voltaje de 2,88V; y así evitar errores por variaciones en la fuente de 12V.

CÁLCULO DE LOS ELEMENTOS DEL CIRCUITO:

El rango de operación del LM335 es: 400µA a 5mA; fuera de este rango hay mal funcionamiento. Sea la corriente que fluye por el sensor de 1,2mA; y despreciando la impedancia dinámica del sensor, se tiene:

$$R_4 = \frac{12V}{1,2mA} = 10K\Omega$$

Para la corrección del offset, es necesario restar 2,88V (voltaje a 15°C). Sea $R_1 = 1K\Omega$, el valor de R_2 será de:

$$R_2 = \frac{2,88V \times R_1}{(5 - 2,88)V} = 1,35K\Omega$$

Se coloca un potenciómetro de 2KΩ

La medición de temperatura será en el rango de 15°C a 40,5°C. A la temperatura de 40,5°C en el sensor LM335 debe obtenerse 3,135V. Al corregir el offset, restando 2,88V, a 40,5°C se tiene que la diferencia de voltaje es 0,255V; los cuales serán amplificados en esta etapa en un factor de 10. Sea $R_5 = R_6 = 100K\Omega$, entonces R_8 será:

$$R_8 = G \times R_5 = 10 \times 100K\Omega = 1M\Omega$$

La siguiente etapa es un amplificador inversor en la cual se obtendrá a la salida un voltaje de 0V a 15°C y 5V a

40,5°C. La ganancia aproximada necesaria para lograr este objetivo es 2. Sea $R_9 = 100K\Omega$, entonces $R = R_{11} + R_{12}$ tendrá que ser aproximadamente $200K\Omega$, por lo tanto se coloca $R_{11} = 150K\Omega$, y R_{12} un potenciómetro de $100K\Omega$, para poder calibrar esta salida.

La resistencia R_{13} se la calcula, tomando en cuenta que el máximo voltaje que podría obtenerse a la salida (pin 7) del amplificador es 12V (el voltaje máximo será menor al voltaje de alimentación en este caso 12V, y depende de la carga y la temperatura ambiente a la que trabaje el TL084), el voltaje del zener es 5.1V y asumiendo una corriente de 10mA en éste; así:

$$R_{13} = \frac{12 - 5,1}{10mA} = 690\Omega$$

$$\text{Sea } R_{13} = 680\Omega$$

Además se han colocado las resistencias R_7 y R_{10} de $1M\Omega$, para obtener un correcto funcionamiento en estas etapas de amplificación.

2.3.8 CIRCUITO DE VISUALIZACION Y TECLADO

CIRCUITO DE CONTROL DE LOS DISPLAYS

Corresponde a los módulos de visualización de la Figura 2.3. Mediante este circuito es posible la visualización de:

- La temperatura medida al interior de la incubadora en un rango de 15°C hasta 40.5°C.
- La temperatura de referencia en un rango de 30°C a 38°C
- El número de volteos por día en un rango de 0 hasta 96 volteos por día

Esta visualización se la hace en 3 displays tipo led de ánodo común. La información que los displays muestren está controlada por el microcontrolador.

Las señales Out0 a Out3 (pines 2,3,18 y 19 del conector H5) sirven para enviar el dato a mostrarse en código BCD. Los pines P1.0, P1.1 y P1.2 (pines 3, 18 y 4 del conector H1) habilitan o no a cada uno de los displays; el circuito integrado 74LS244 se usa como driver para poder tener una corriente mayor. Según este circuito al resetear el microcontrolador (los pines del pòrtico P1 se ponen en 1L) los displays estarán desactivados evitando un consumo alto de corriente. Mediante software se realiza el barrido de la pantalla conformada por los 3 displays. La Figura 2.12 muestra este circuito.

La habilitación de los displays se la hace con los transistores tipo darlington Q1, Q2 y Q3; para garantizar su saturación. El punto decimal del display intermedio se lo controla con la señal Out4 (pin 5 del conector H5) y el transistor Q4.

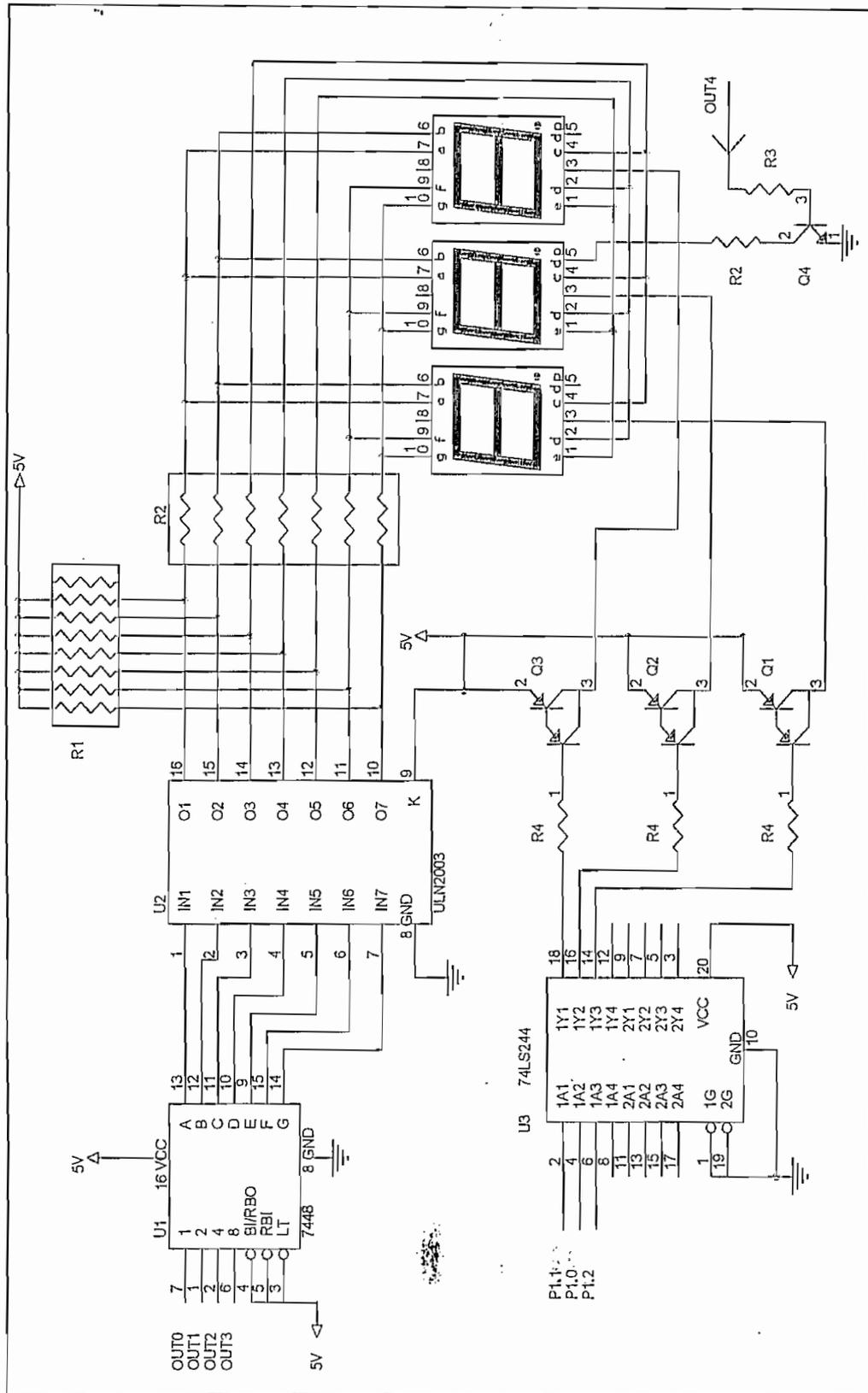


FIGURA 2.12 Circuito de control de los displays

COMPONENTES DEL CIRCUITO:

U1: Circuito integrado SN74LS48N
 U2: Circuito integrado ULN2003A
 U3: Circuito integrado SN74LS244N
 R1: R-pack 10K Ω
 R2: 8 Resistencias 39 Ω 1/4W
 R3: Resistencia 1K Ω 1/4w
 R4: Resistencia 2,7K Ω 1/4W
 Q1,Q2,Q3: Transistor Darlington PNP TIP115 (ECG262)
 Q4: Transistor NPN 2N3707
 3 Displays de 7 segmentos

Para la decodificación de BCD a 7 segmentos se lo hace con el C.I. 74LS48, un decodificador no inversor que no necesita resistencias de pull-up, puesto que ya las tiene internamente, y cuyas salidas van al C.I. ULN2003A para poder manejar corrientes más altas (hasta 500mA); este circuito integrado es un driver con salidas a colector abierto, por lo que es necesario colocar resistencias de pull-up a cada salida.

CALCULO DE LOS ELEMENTOS DEL CIRCUITO:

Para una luminosidad adecuada de cada display es necesario una corriente continua de 15mA aproximadamente. Ya que los displays se manejan por barrido se debe dar a cada uno una corriente pico de:

$$I_{pico} = n \times I_{DC} = 3 \times 15mA = 45mA$$

Donde $n = 3$, es el número de displays

Las resistencias R1 son de pull-up y se da un valor de 10K Ω . Las resistencias R2 se calculan así:

$$R_2 = \frac{V_{CC} - V_{CE.SAT} - V_D - V_{SAT.U2}}{I_{pico}} = \frac{5 - 0,8 - 1,7 - 0,7}{45mA} = 40\Omega$$

$$\text{Sea } R_2 = 39\Omega$$

Este mismo valor se obtiene para la resistencia que va al colector de Q4 y que controla el punto decimal.

Cuando los 7 segmentos del display se encienden se tiene una corriente pico total de:

$$I_T = 45mA \times 7 = 315mA$$

El transistor ECG262 es un transistor PNP darlington, con un β de 1.000; asumiendo un β de saturación de 200 se tiene que la corriente de base será de 1,575mA; por lo tanto la resistencia R4 será:

$$R_4 = \frac{5 - V_{BE}}{1,575mA} = \frac{5 - 1,2}{1,575mA} = 2,41K\Omega$$

$$\text{Sea } R_4 = 2,7K\Omega$$

La resistencia en la base del transistor Q4 se calcula tomando en cuenta un β de saturación de 10, por lo que la corriente de base es:

$$I_{BQ4} = \frac{45mA}{10} = 4,5mA$$

$$R_3 = \frac{5 - 0,6}{4,5mA} = 977,7\Omega$$

Sea $R3 = 1K\Omega$

CIRCUITO DE VISUALIZACION DE LOS LEDS

Como parte de la visualización se tiene 4 leds que informan sobre la potencia del calentador (Módulo de "Visualización de la potencia del calentador" de la Figura 2.3), la cual puede ser de:

- Cero (ningún led encendido)
- Un cuarto de la potencia total (1 led encendido)
- Un medio de la potencia total (2 leds encendidos)
- Tres cuartos de la potencia total (3 leds encendidos)
- La potencia total (4 leds encendidos)

Las señales que controlan esta barra de leds son Out10 a Out13 (pines 7,14,10 y 11 del conector H5) a través de 4 transistores Q5 a Q8.

Existen 2 leds de alarma para:

- Falla de ventilación
- Sobretemperatura (temperatura mayor o igual a 39°C)

Las señales Out8 y Out9 (pines 12 y 13 del conector H5) respectivamente controlan estos leds a través de los transistores Q9 y Q10.

En la Figura 2.13 puede verse el circuito para los diferentes leds.

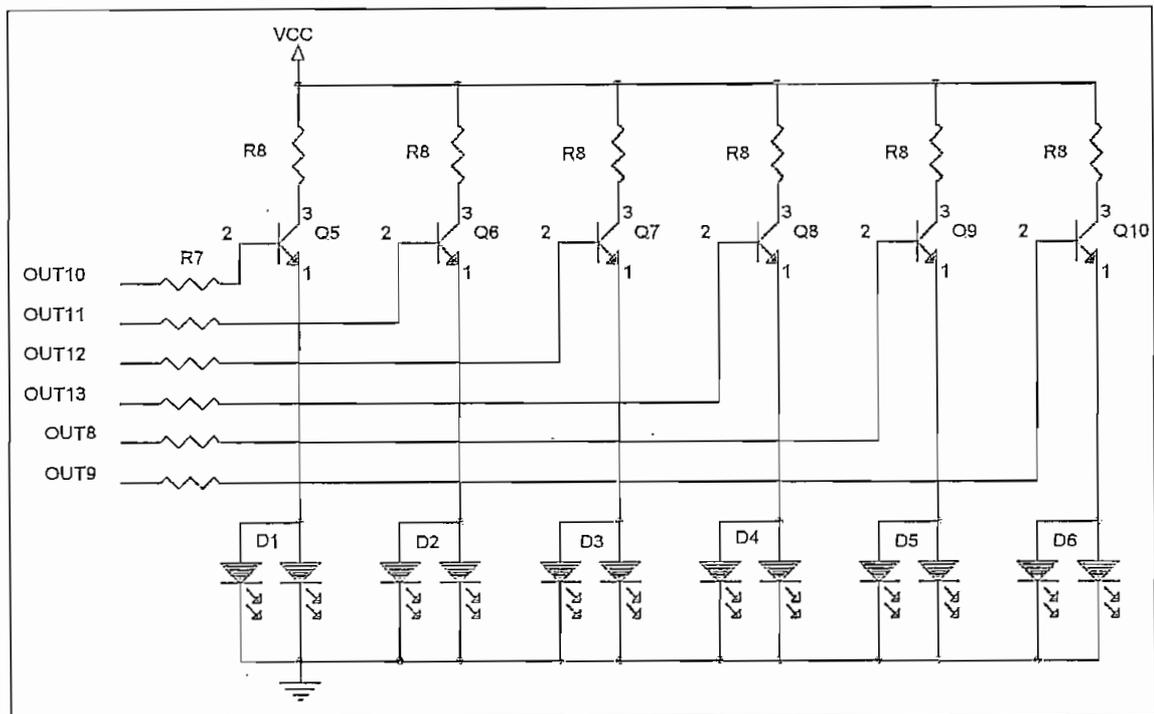


FIGURA 2.13 Circuito de visualización de los leds

COMPONENTES DEL CIRCUITO:

- R7: 6 Resistencias 1K Ω 1/4W
 R8: 6 Resistencias 150 Ω 1/4W
 Q5 - Q10: 6 Transistores ECG123AP
 D1 - D6: 6 Leds dobles

CALCULO DE LOS ELEMENTOS DEL CIRCUITO:

Debido a que los leds son dobles se asume una corriente de 20mA, que es la corriente de colector en los transistores; por lo tanto R8 será:

$$R_8 = \frac{5 - V_{CE.SAT} - V_{LED}}{20mA} = \frac{5 - 0,2 - 1,6}{20mA} = 160\Omega$$

Sea R8 = 150 Ω

Tomando en cuenta un β de saturación de 10, la corriente en la base será de 2mA. Por lo tanto, el valor de la resistencia R7 es:

$$R_7 = \frac{5 - 0,6 - 1,6}{2mA} = 1,4K\Omega$$

Sea $R_7 = 1K\Omega$

CIRCUITO DEL TECLADO

Corresponde a los módulos de "Ingreso del valor de la temperatura de referencia", "Ingreso del valor del número de volteos automático por día", y de "Selección de la opción de movimiento manual", de la Figura 2.3. Esto se lo hace a través de 3 teclas y un switch, como se ve en la Figura 2.14. El switch permite intercambiar entre visualizar la temperatura de referencia o medida y el número de volteos por día, así también, interviene en la función que realizan dos de las teclas como ya se explicará más adelante; el switch pone en alto o en bajo la señal de entrada INP0 (pin 4 del conector H6), que va a la tarjeta MCPD51.

Existe una tecla T2, para subir la temperatura de referencia o el número de volteos, dependiendo de la posición del switch; y otra para bajar, T3. La temperatura de referencia sube o baja 0.1°C, y el número de volteos aumenta o disminuye 12 volteos por día.

Al oprimir cualquiera de estas dos teclas cuando la opción de ver temperatura está colocada en el switch; el display

cambia automáticamente, y muestra la temperatura de referencia en lugar de la temperatura sensada al interior de la incubadora.

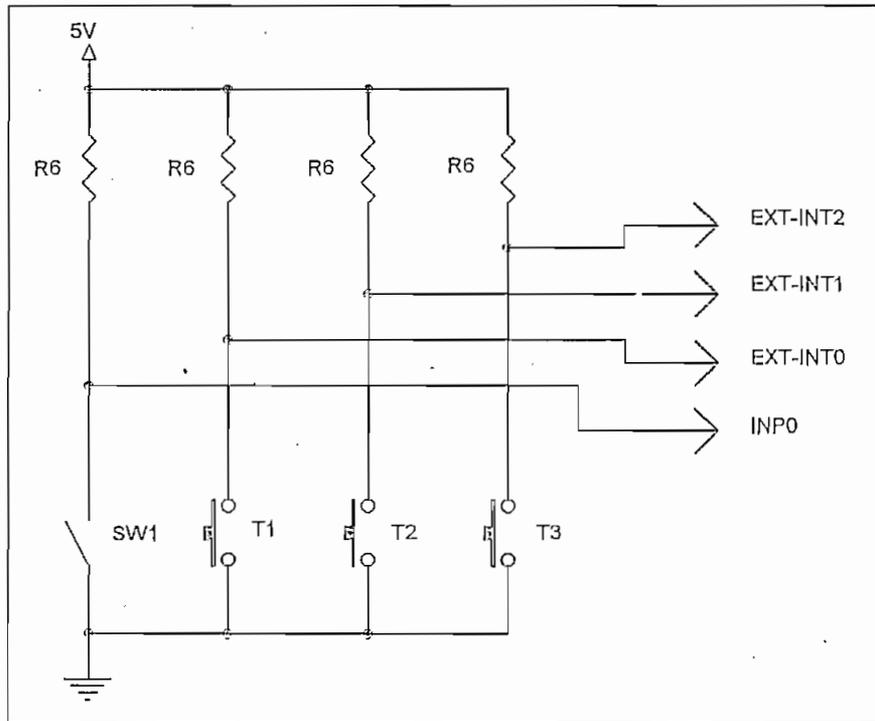


FIGURA 2.14 Circuito del teclado

COMPONENTES DEL CIRCUITO:

R6: 4 Resistencias 4,7K Ω 1/4W

T1,T2,T3: Teclas

SW1: Switch

Existe una tercera tecla, T1, que no depende de la posición del switch, y que sirve para dar un movimiento manual al sistema de volteo de la bandeja de huevos.

Las tres teclas son manejadas a través de la interrupción externa cero, por interrupción por estado (0L) y no por cambio de nivel (borde negativo); no se realiza una

eliminación de rebote por hardware, sino por software. Las señales para cada una de las teclas son:

Tecla subir: EXT-INT1 (pin 14 conector H6)

Tecla bajar: EXT-INT2 (pin 8 conector H6)

Tecla volteo manual: EXT-INT0 (pin 7 conector H6)

CALCULO DE LOS ELEMENTOS DEL CIRCUITO:

La resistencia R6 sirve para limitar la corriente cuando una tecla es presionada. Sea una corriente de 1mA, entonces R6 será:

$$R_6 = \frac{5V}{1mA} = 5K\Omega$$

Sea R6 = 4,7K Ω

2.3.9 CIRCUITO DE CONTROL DEL MOTOR DE PASOS

Corresponde al módulo de "Movimiento de la bandeja de huevos" de la Figura 2.3. Este circuito está encargado de controlar el motor de pasos que mueve la bandeja de huevos cada cierto tiempo.

La clave de un motor de pasos radica en el diseño de una combinación de rotor y estator que tiene posiciones de equilibrio espaciadas regularmente y creadas por polos magnéticos alternos (norte-sur-norte-sur.....). Las especificaciones del motor de pasos usado se muestran a continuación:

Voltaje: 9V

Angulo de paso: 15°

Tipo: Unipolar (2 bobinas por cada estator, es decir en total 4 bobinas). De imán permanente (no de reluctancia variable)

Resistencia de cada bobina: 10Ω

Marca: Fuji Electrochemical Co.

Procedencia: Japón

Para lograr un movimiento continuo en sentido horario en el eje del motor se debe seguir la siguiente secuencia de excitación en las bobinas: L1, L4, L2, L3, L1, L4, L2, L3,.....(ver Figura 2.15).

Para cambiar el sentido de rotación sólo se debe excitar en sentido contrario las bobinas.

En el circuito de la Figura 2.15, las señales del pörtico P1 del microcontrolador P1.4 a P1.7 (pines 5, 16, 6 y 15 del conector H1) ponen en corte o saturación a los transistores Q1 a Q4, que a su vez activan o no las bobinas del motor de pasos. Las señales del pörtico P1 van antes al driver 74LS240 para manejar corrientes más altas, y además este circuito integrado invierte estas señales con el fin de que al resetear el microcontrolador, las bobinas del motor estén desactivadas.

El voltaje de alimentación de 12V procedente de la fuente es primeramente conectado a dos diodos en serie D1 y D2 con el propósito de tener 0,9V aproximadamente en cada uno. Además el voltaje colector emisor de cada uno de los transistores es también 0,9V, por lo que el voltaje

aplicado a las bobinas del motor de pasos es de 9,3V, voltaje (voltaje especificado 9V).

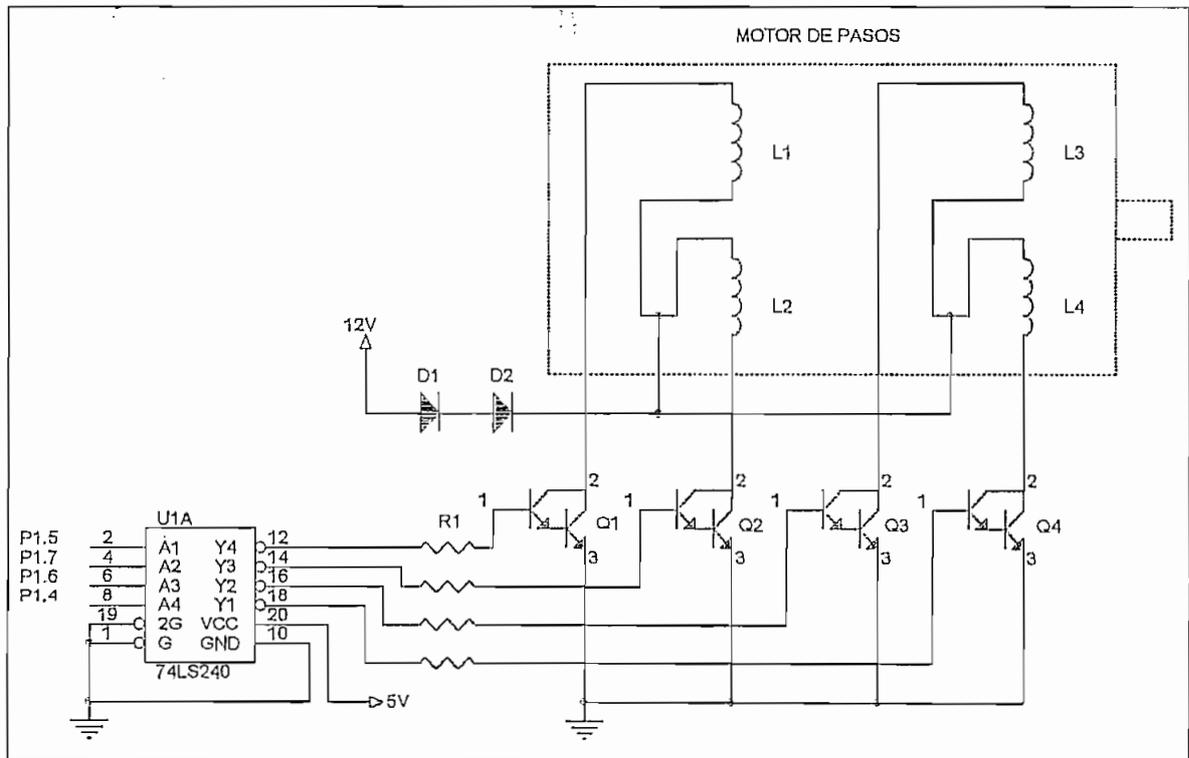


FIGURA 2.15 Circuito de control del motor de pasos

COMPONENTES DEL CIRCUITO:

U3: Circuito integrado SN74LS240N

R1: Resistencia 3,3K Ω 1/4W

D1, D2: Diodo de 6A

Q1, Q2, Q3, Q4: Transistor NPN Darlington TIP120
(ECG261)

CALCULO DE LOS ELEMENTOS DEL CIRCUITO:

Sabiendo que el voltaje aplicado a cada bobina del motor es 9,3V y que la resistencia de ésta es 10 Ω , entonces la corriente de colector en los transistores en saturación es:

$$I_C = \frac{9,3V}{10\Omega} = 0,93A$$

Se escoge el transistor ECG261 por tener una $I_{Cm\acute{a}x} = 8A$, y por su configuración Darlington que permite calcular la corriente de base asumiendo un β de 700:

$$I_B = \frac{0,93A}{700} = 1,33mA$$

$$R_1 = \frac{5 - V_{BE}}{I_B} = \frac{5 - 1}{1,33mA} = 3K\Omega$$

$$\text{Sea } R_1 = 3,3K\Omega$$

2.3.10 CIRCUITO DE DETECCIÓN DE FIN DE CARRERA

Este circuito corresponde al módulo de "Detección del fin de carrera del movimiento de la bandeja" de la Figura 2.3. Se encarga de detectar si la bandeja de huevos ha alcanzado la posición adecuada (inclinación de 45°). En el sistema de movimiento como ya se explicó, existe una tuerca que es la que sube o baja cuando el perno gira en uno u otro sentido por acción del motor de pasos. A esta tuerca se halla acoplada una pequeña lámina; esta lámina al subir o bajar hasta sus posiciones extremas pasa a través de dos interruptores optoacoplados (uno en cada extremo), los que mediante el circuito de la Figura 2.16 emitirán la señal correspondiente hacia el microcontrolador.

Cuando la posición de la bandeja es intermedia, es decir no en las posiciones extremas; las señales SW0 y SW1 (pines 20 y 1 del conector H2) usadas para llevar la información al

microcontrolador se encuentran en 0L, ya que el transistor (detector) del optoacoplador se encuentra saturado al no existir obstrucción de la luz procedente del led (emisor).

Si la bandeja se encuentra en una de las posiciones extremas, una de las señales SW0 o SW1 (la que provenga del interruptor optoacoplado ubicado en esa posición) estará en 1L, puesto que el transistor del optoacoplador está en corte al interrumpirse el haz de luz proveniente del led.

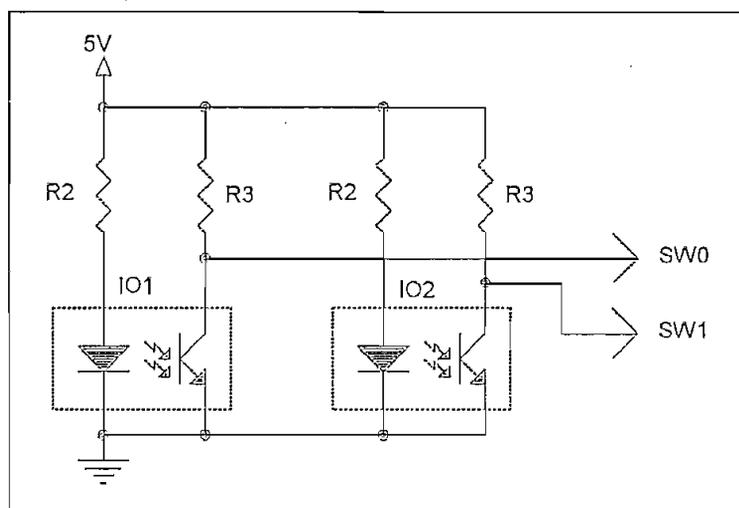


FIGURA 2.16 Circuito de detección de fin de carrera

COMPONENTES DEL CIRCUITO:

IO1, IO2: Interruptor optoacoplado ECG3100

R2: Resistencia 330Ω 1/4W

R3: Resistencia $4,7K\Omega$ 1/4W

CALCULO DE LOS ELEMENTOS DEL CIRCUITO:

Sea el voltaje que cae en el led igual a 1,5V y su corriente de 10mA, entonces R2 será:

$$R_2 = \frac{5 - 1,5}{10mA} = 350\Omega$$

$$\text{Sea } R_2 = 330\Omega$$

Sea una corriente de colector en el transistor de 1mA cuando éste se encuentra saturado, entonces:

$$R_3 = \frac{5 - V_{CEsat}}{1mA} = \frac{5 - 0,2}{1mA} = 4,8K\Omega$$

$$\text{Sea } R_3 = 4,7K\Omega$$

2.4 FUENTE DE ALIMENTACION

Para cubrir las necesidades de todos los circuitos, es necesario contar con voltajes de +12V, -12V y 5V. A continuación se procede al dimensionamiento de la corriente necesaria en cada uno de estos voltajes.

FUENTE +12V:

CIRCUITO O TARJETA	ELEMENTOS	I (mA)
Alarma	Parlante	6,6
Motor de pasos	Bobina	930,0
Acondicionador de temperatura	Sensor de temperatura, C.I. TL084	1,2 11,2
Tarjeta MCPD51	C.I. 1488	10,0
TOTAL		959,0

FUENTE +5V:

CIRCUITO O TARJETA	ELEMENTOS	I (mA)
Tarjeta MCPD51	Microcontrolador 8751,	200,0
	12 C.I. tipo TTL,	120,0
	16 Resistencias de pull-up	8,0
Activación del triac	Corriente en resistencia	8,0
Detector cruce x cero	Corriente en resistencias	2,0
Detección ausencia de corriente ventilador	Corriente en resistencia	0,5
Visualización	Display de 7 segmentos,	360,0
	3 C.I. tipo TTL,	30,0
	6 Leds	120,0
Teclado	Teclas y switch	4,0
Motor de pasos	1 C.I. tipo TTL	10,0
Detección fin de carrera	2 Interruptores optoacoplados	20,0
TOTAL		882,5

FUENTE -12V:

CIRCUITO O TARJETA	ELEMENTOS	I (mA)
Acondicionador de temperatura	C.I. TL084	11,2
Tarjeta MCPD51	C.I. 1488	10,0
TOTAL		21,2

La fuente de poder obtenida es una fuente de tipo de conmutación que es utilizada comúnmente en los computadores personales; y sus características son:

- Modelo: AB250W; Potencia de salida DC: 250W
- Entrada de Voltaje AC: 110-120/220-240V 60/50Hz 6/3,5A
- Salidas de Voltaje DC:

VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)	TOLERANCIA (%)
+5	20	±3%
+12	8	±5%
-12	0,5	±10%
-5	0,5	±5%

La fuente de alimentación se encuentra montada debajo del módulo metálico, y sujeta al mueble usado como base de soporte de la incubadora.

2.5 PROTECCIONES DEL EQUIPO Y ELIMINACION DE INTERFERENCIAS

Las protecciones con las que este equipo cuenta son las siguientes:

- Fusible de 2A para el calentador (circuito de activación del triac)
- Fusible de 0,5A para el ventilador (circuito de detección de ausencia de corriente en el ventilador)
- Fusible de 1,5A para el motor de pasos

El efecto de las interferencias desde las de 1^{er} orden hasta las de 6^{to} orden, es decir las interferencias de origen capacitivo, inductivo, electromagnético, por acoplamiento inductivo, por circuitos a tierra e interno; pueden reducirse aplicando varias recomendaciones:

- Utilización de cable entrelazado y blindado para la transmisión de las señales y para interconexión entre tarjetas.
- Conexión en un solo punto de la referencia a tierra para todo el sistema microprocesado.
- Utilización de una fuente DC conmutada.
- Aumentar las distancias entre la fuente y el equipo a protegerse.
- Una adecuada ventilación de los elementos semiconductores
- Utilización de condensadores de 0,1 μ F cerca de los pines de alimentación de los circuitos integrados.
- Uso de capacitores electrolíticos de 2200 μ F 25V con los diferentes voltajes de la fuente de alimentación.

2.6 DISEÑO DE LAS TARJETAS ELECTRONICAS

Para la realización de esta incubadora se construyeron 5 tarjetas electrónicas; sin tomar en cuenta la tarjeta MCPD51.

TARJETA # 1: Corresponde al circuito del acondicionador de temperatura.

TARJETA # 2: Corresponde a los circuitos que involucran voltaje AC, estos son: circuito de control del calentador, detector de cruce por cero y detector de ausencia de corriente en el ventilador.

TARJETA # 3: Corresponde a los circuitos de visualización y teclado. Esta tarjeta a diferencia de las otras ha sido diseñada a doble lado, debido a su dificultad.

TARJETA # 4: Construida con el fin de servir como enlace a todas las demás tarjetas, también corresponde al circuito de control del motor de pasos.

TARJETA # 5: Corresponde al circuito de detección de fin de carrera. Esta es la única tarjeta que se encuentra visible al interior de la cúpula, y está ubicada en la base del sistema de movimiento de la bandeja de huevos.

Todas estas tarjetas se encuentran enlazadas a través de conectores, los que se describen a continuación:

CONECTOR J1

Este conector enlaza la tarjeta 1 con la 4 y contiene las siguientes señales:

-12V	Voltaje de alimentación de -12V
+12V	Voltaje de alimentación de +12V
A/D	Señal desde el sensor de temperatura hacia el conversor A/D de la tarjeta MCPD51
GND	GND de la fuente de alimentación

CONECTOR J2

Es el conector del sensor de temperatura, y se encuentra en la tarjeta 1, sus pines son:

+	Un terminal del sensor (cátodo)
ADJ	Terminal del sensor para calibración
NC	Sin conexión
-	Otro terminal del sensor (ánodo)

CONECTOR J3

Entrada de voltaje AC de la red hacia el circuito de control del calentador y de detección del cruce por cero. Se encuentra en la tarjeta 2, sus pines son:

AC1	1a. línea de voltaje AC
ACHEAT	2a. Línea de voltaje AC, a esta línea va un terminal del calentador
HEATER	Hacia el otro terminal del calentador

CONECTOR J4

Entrada de voltaje AC de la red hacia el circuito de detección de ausencia de corriente en el ventilador. Se encuentra en la tarjeta 2, sus pines son:

AC1	1a. línea de voltaje AC
NC	Sin conexión
AC	2a. Línea de voltaje AC

CONECTOR J5

Este conector enlaza la tarjeta 2 con la 4 y contiene las siguientes señales:

EXINT1	Detección del cruce por cero del voltaje AC hacia la INT1 del microcontrolador
NC	Sin conexión

P1.3	Pin 3 del pÓrtico P1 del microcontrolador, señal de activaci3n del triac
NC	Sin conexi3n
GND	GND de la fuente de alimentaci3n
NC	Sin conexi3n
5V	Voltaje de alimentaci3n de 5V
AUSEN	Señal de detecci3n de ausencia de corriente en el ventilador, va hacia EXT-INT6 de la tarjeta MCPD51

CONECTOR J6

Este conector DB9 enlaza la tarjeta 5 con la 4 y contiene las siguientes señales:

P1.4...P1.7	Pines 4, 5, 6 y 7 del pÓrtico P1 del microcontrolador, señales de activaci3n de las bobinas del motor de pasos
9V	Voltaje aproximado de 9V necesario para el funcionamiento del motor de pasos
SW0, SW1	Detecci3n del fin de carrera, estas señales van hacia SW0 y SW1 de la tarjeta MCPD51
GND	GND de la fuente de alimentaci3n

CONECTOR J7

Este conector DB9 enlaza la tarjeta 3 con la 4 y contiene las siguientes señales:

P1.0...P1.2	Pines 0, 1 y 2 del pÓrtico P1 del microcontrolador, señales para la activaci3n de cada uno de los 3 displays de 7 segmentos
GND	GND de la fuente de alimentaci3n

INP0 Señal del switch para visualizar en el display la temperatura o el número de volteos. Va hacia INP0 de la tarjeta MCPD51.

EXT-INT0..

...EXT-INT2: Detectan que tecla es presionada, estas señales van hacia EXT-INT0, EXT-INT1 y EXT-INT2 de la tarjeta MCPD51.

5V Voltaje de alimentación de 5V.

CONECTOR J9

Usado para la conexión del parlante que sirve como alarma

- Terminal negativo del parlante

NC Sin conexión

+ Terminal positivo del parlante

NC Sin conexión

CONECTOR J10

Usado para la conexión del switch para visualizar la temperatura o el número de volteos.

Además en la tarjeta 5 existen los conectores para los interruptores optoacoplados y para el motor de pasos. En la tarjeta 4 se encuentran los conectores CON1, H1, H2 y H6 que sirven de enlace con la tarjeta MCPD51; en esta misma tarjeta se encuentra el conector llamado Fuente, que recibe los voltajes de alimentación desde la fuente de alimentación. También en la tarjeta 3 existe el conector H5 hacia la tarjeta MCPD51.

Todas las tarjetas, excepto la tarjeta 5, se encuentran montadas al interior del módulo metálico; en una especie de panel desmontable.

2.7 INCONVENIENTES PRESENTADOS CON EL HARDWARE, Y SUS SOLUCIONES

Se ha creído conveniente el narrar varias experiencias obtenidas al solucionar problemas presentados en el diseño y construcción del hardware, estas son:

- Un primer inconveniente se produjo cuando la fuente de alimentación, se encontraba al interior del módulo metálico. Se presentaron problemas de calentamiento en la fuente, ya que el módulo metálico transmite el calor producido por el calentador; y además esta fuente no tenía la suficiente ventilación. El problema se solucionó al sacar la fuente fuera del módulo metálico, y montarla en el soporte de la incubadora.
- Un segundo problema se presentó al activar el motor de pasos que realiza el movimiento de la bandeja, el valor sensado de la temperatura al interior de la incubadora y el valor de referencia de 2,88V para la corrección del offset, aumentaban. Se pensó, entonces, que este problema podría ser causado por el ruido en la fuente de 12V producido por la activación de las bobinas del motor de pasos; por lo cual se colocó capacitores de 0.1uF cerca de los pines de alimentación de los circuitos integrados y cerca de la alimentación de 12V para el sensor de

temperatura y para el voltaje de referencia de 2,88V. Además se colocó un capacitor electrolítico de 2200uF en paralelo al voltaje de alimentación de 12V.

Mediante estas acciones no se logró solucionar este inconveniente. El problema principal radicaba en que, el camino de tierra del circuito de activación del motor de pasos, era el mismo que para el circuito del acondicionador de temperatura; y además este camino (pista en el impreso) era muy delgado, por lo tanto cuando el motor de pasos se activaba la corriente que circulaba era alrededor de 1A y producía una caída de voltaje significativa en este camino. El problema se pudo solucionar al hacer esta pista más ancha, y también al realizar un camino de tierra diferente para el circuito del acondicionador de temperatura.

- Otro inconveniente se presentó al introducir las tarjetas electrónicas al interior del panel desmontable. La parte del voltaje de referencia para la corrección del offset del circuito acondicionador de temperatura, entonces, estaba diseñada en base a un zener de 9,1V; el cual se utilizaba para que las variaciones en el voltaje de 12V no alteren el valor de referencia.

Al interior del panel desmontable la temperatura se eleva en cierto grado debido al calor procedente del calentador. Esta elevación en la temperatura producía que el voltaje fijado por el zener aumente, lo que hacía que el voltaje de referencia de 2,88V también aumente. Para solucionar este inconveniente se colocó un ventilador que evite que la temperatura al interior del panel desmontable suba y que proporcione una adecuada

ventilación a los elementos semiconductores. Mediante esta acción el problema se redujo parcialmente; pero para solucionar completamente este inconveniente, en lugar del zener de 9,1V, se utilizó un regulador de voltaje de 5V, cuyo voltaje de salida no varía con los gradientes de temperatura presentados.

CAPITULO 3

DISEÑO DEL SOFTWARE

3.1 GENERALIDADES

Para un mejor entendimiento del programa realizado, usando el set de instrucciones del microcontrolador Intel 8751, y grabado en una memoria EPROM (2732), se resumirá algunos datos útiles para el programa:

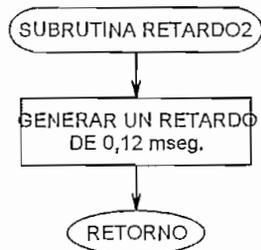
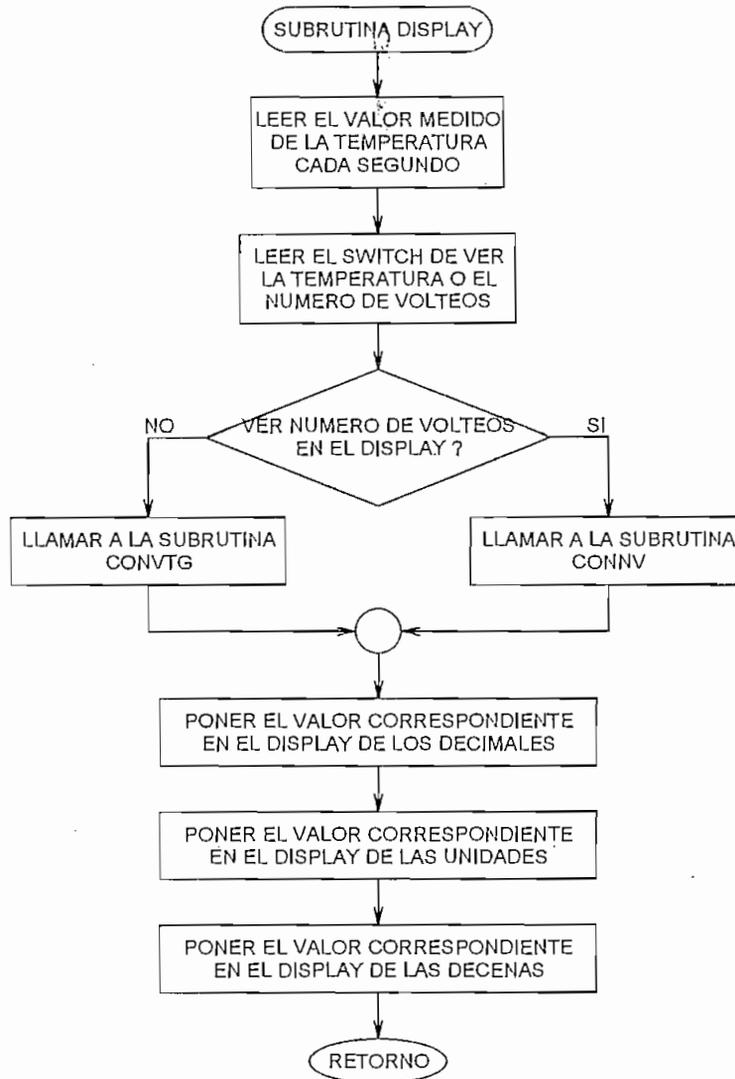
- Rango de la temperatura medida: 15°C - 40,5°C
- Rango de la temperatura de referencia: 30°C - 38°C
- Resolución de la temperatura: 0,1°C
- Rango del número de volteos: 0 - 96 volteos/día
- Resolución del número de volteos: 12 volteos/día
- Temperatura de referencia por defecto: 37°C
- Número de volteos por defecto: 12 volteos/día
- Angulo aproximado de inclinación de la bandeja de huevos hacia cada lado: 45°
- Temperatura de alarma de sobretemperatura: 39°C

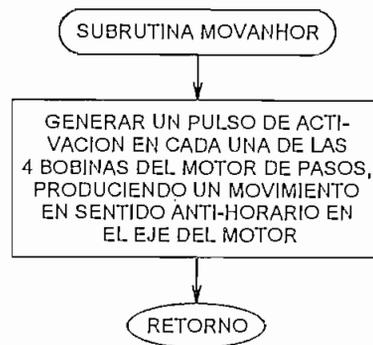
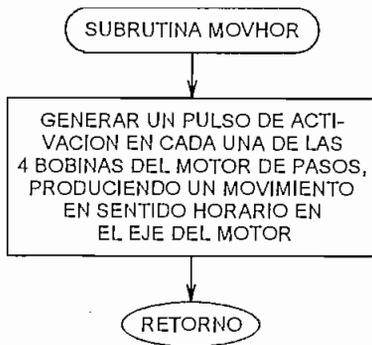
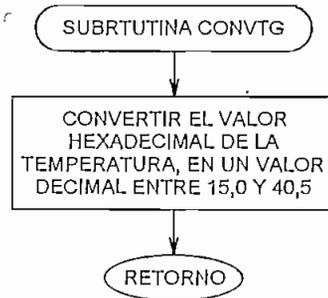
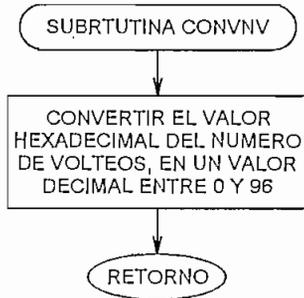
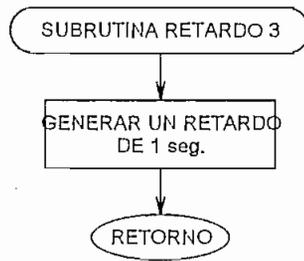
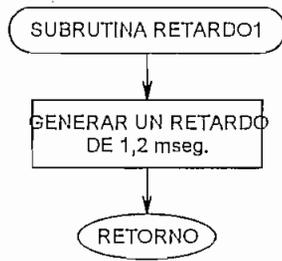
En forma resumida el programa diseñado realiza lo siguiente:

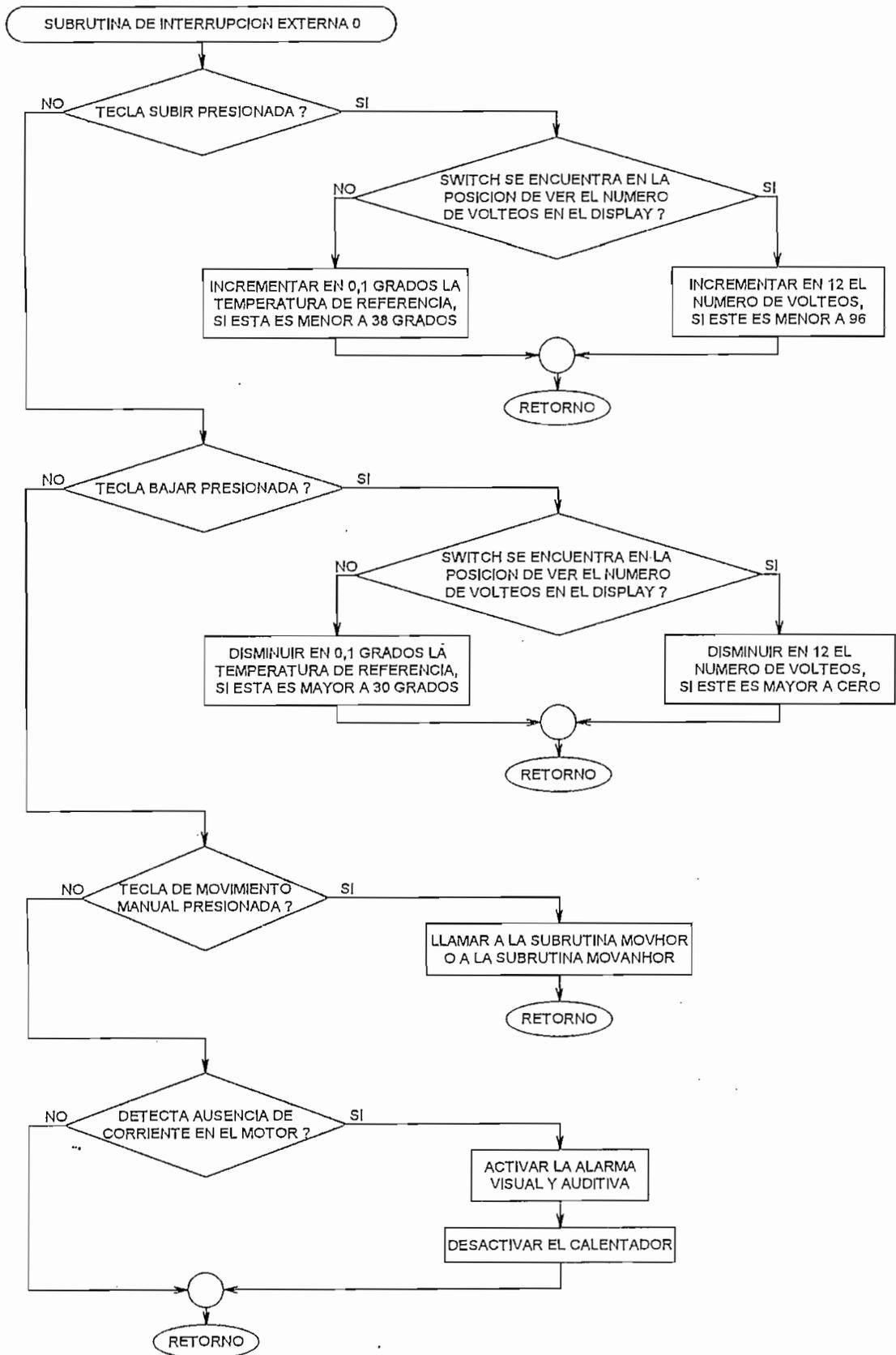
- Una inicialización donde se enciende todos los leds y displays y se escucha por 1 segundo el parlante.
- Lee el valor de la temperatura medida del conversor "A/D.
- Mediante 2 teclas permite subir o bajar la temperatura de referencia en 0,1°C desde 30°C hasta 38°C, y el número de volteos de la bandeja en 12 volteos por día desde 0 hasta 96 volteos por día.
- Realiza el control de temperatura.
- Enciende un led de alarma y el parlante, si existe mal funcionamiento del ventilador, o si la temperatura medida sobrepasa los 39°C.
- Realiza el barrido de los 3 displays.
- Permite seleccionar a través de un switch lo que se visualiza en el display, sea la temperatura o el número de volteos.
- Mediante una tecla permite realizar el movimiento manual de la bandeja de huevos.
- Realiza el movimiento automático de la bandeja de huevos de acuerdo al número de volteos por día seleccionado.

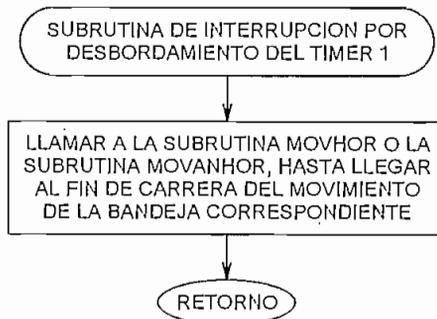
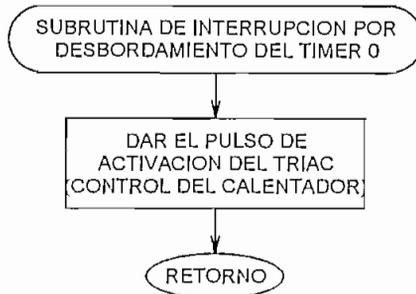
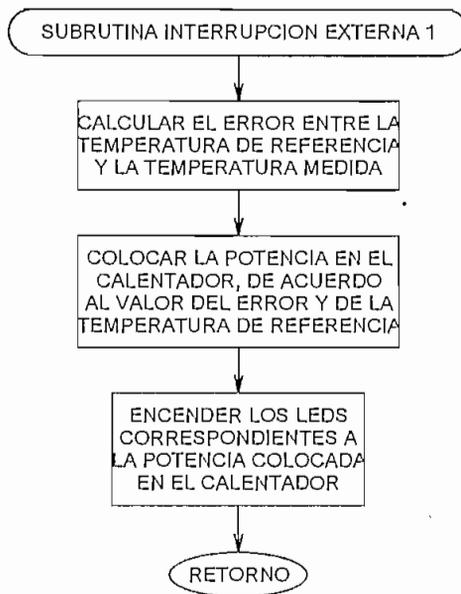
3.2 DIAGRAMAS DE FLUJO DEL PROGRAMA

Los diagramas de flujo realizados corresponden por separado al programa principal y a cada una de las subrutinas desarrolladas.









3.3 DESARROLLO DEL SOFTWARE

El software realizado consta de un programa principal y varias subrutinas. El programa principal consta de un segmento de inicialización, y de un lazo que se repite cíclicamente por tiempo indefinido. Este lazo puede interrumpirse cuando el microcontrolador Intel 8751, atiende a una de sus interrupciones.

En el procedimiento del programa principal se tiene las siguientes tareas:

Inicialización

- Inicializar el Stack Pointer
- Deshabilitar los 3 displays y las 4 bobinas del motor de pasos
- Poner un 0L (Borrar) en las banderas 1, 3 y 4 y la bandera de usuario F0
- Poner un 1L (Setear) en la bandera 5
- Deshabilitar las Interrupciones
- Encender los 4 leds de indicación de la potencia del calentador, los 2 leds de indicación de alarma, y mostrar el número 8 en los 3 displays por un tiempo aproximado de 4 segundos (Llamar 4 veces a la subrutina Retardo 3 que dura cerca de 1 segundo).
- Borrar la bandera 5
- Apagar todos los leds y activar el parlante por 1 segundo (Llamar 1 vez a la subrutina Retardo 3)
- Inicializar la temperatura de referencia en 37 grados
- Inicializar el número de volteos de la bandeja en 12 volteos por día
- Asignar a los registros R5 y R6 los valores correspondientes para el movimiento automático de 12 volteos por día
- Inicializar los temporizadores (Timers) T1 y T0 como temporizadores de 16 bits
- Habilitar las interrupciones en el siguiente orden de prioridad: Interrupción por desbordamiento del timer 0 (TF0), Interrupción externa 1 (IE1), Interrupción por desbordamiento del timer 1 (TF1), e Interrupción externa 0 (IE0).
- La Interrupción externa 0 es activada por estado en 0L, y la Interrupción externa 1 es activada por cambio de nivel, es decir, por borde negativo.
- Asignar los valores correspondientes a los registros R0, R1, y R3

Fin de Tarea

Lazo de repetición cíclica

- Borrar la bandera 2
- Llamar a la subrutina display
- Determinar si la temperatura medida es mayor o igual a 39 grados:

Temperatura medida mayor o igual a 39 grados

- Deshabilitar las interrupciones INT1 y TF0
- Desactivar el calentador
- Encender led de alarma de alta temperatura
- Activar el parlante por un segundo (Llamar a la subrutina Retardo 3)

Fin de Tarea**Temperatura medida menor a 39 grados**

- Habilitar las interrupciones INT1 y TF0

Fin de Tarea

- Determinar si el número de volteos por día automático de la bandeja es igual a cero:

Número de volteos igual a cero

- Borrar la bandera F0
- Deshabilitar la interrupción TF1

Fin de Tarea**Número de volteos diferente de cero (Modo de movimiento automático)**

- Habilitar la interrupción TF1
- Si la bandera F0 es igual a cero (Primera vez en modo automático) realizar:
- Setear la bandera F0
- Colocar en los registros TH1 y TL1 del Timer 1, los valores correspondientes
- Arrancar el Timer 1

Fin de Tarea**Fin del lazo de repetición**

En el procedimiento de la subrutina Display se tiene las siguientes tareas:

Leer el valor medido de la temperatura en cada segundo

- Saltar a "Poner el valor correspondiente en el display de los decimales", si la bandera 5 es igual a 1L (ver el número 8 en los displays), de lo contrario seguir las siguientes tareas:
- Disminuir en 1 el valor del registro R3
- Saltar a "Leer el estado del switch de selección", si el registro R3 es diferente de cero, de lo contrario seguir las siguientes tareas:
- Colocar el dato respectivo en el registro R3
- Leer el valor medido de la temperatura de la dirección del conversor A/D

Fin de Tarea

Leer el estado del switch de selección (Para visualizar la temperatura o el número de volteos en el display)

- Leer el estado del switch de la dirección DIPSINP07
- Mover este dato a la bandera 1
- Bandera 1 = 1L, saltar a "Ver el Número de volteos en el display"
- Bandera 1 = 0L, saltar a "Ver la Temperatura en el display"

Fin de Tarea

Ver el Número de volteos en el display

- Llamar a la subrutina CONVNV
- Saltar a "Poner el valor correspondiente en el display de los decimales"

Fin de Tarea

Ver la Temperatura en el display

- Bandera 3 = 1L (Tecla de subir o bajar presionada), mover el valor de la temperatura de referencia al Acumulador
- Bandera 3 = 0L, mover el valor de la temperatura medida al Acumulador
- Llamar a la subrutina CONVTG
- Saltar a "Poner el valor correspondiente en el display de los decimales"

Fin de Tarea

Poner el valor correspondiente en el display de los decimales

- Poner el dato a mostrarse en este display en código BCD en la dirección OUT07
- Activar este display
- Llamar a la subrutina RETARDO1
- Desactivar este display
- Llamar a la subrutina RETARDO2

Fin de Tarea

Poner el valor correspondiente en el display de las unidades

- Poner el dato a mostrarse en este display en código BCD en la dirección OUT07
- Bandera 1 = 1L, no poner punto decimal. Bandera 1 = 0L, poner punto decimal
- Activar este display
- Llamar a la subrutina RETARDO1
- Desactivar este display
- Llamar a la subrutina RETARDO2

Fin de Tarea

Poner el valor correspondiente en el display de las decenas

- Poner el dato a mostrarse en este display en código BCD en la dirección OUT07
- Bandera 1 = 1L, no activar este display. Bandera 1 = 0L, activar este display
- Llamar a la subrutina RETARDO1
- Desactivar este display
- Llamar a la subrutina RETARDO2

Fin de Tarea

En el procedimiento de la subrutina Retardo 2, se tiene las siguientes tareas:

Generar un retardo de 0,12 mseg. aproximadamente

- Colocar el valor correspondiente en el registro R4
- Disminuir en 1 el valor del registro R4 hasta llegar a cero

Fin de Tarea

En el procedimiento de la subrutina Retardo 1, se tiene las siguientes tareas:

Generar un retardo de 1,2 mseg. aproximadamente

- Colocar el valor correspondiente en el registro R2
- Llamar a la subrutina RETARDO2, disminuyendo en 1 el valor del registro R2 cada vez que se llama a esta subrutina; hasta que R2 sea cero

Fin de Tarea

En el procedimiento de la subrutina Retardo 3, se tiene las siguientes tareas:

Generar un retardo de 1 seg. aproximadamente

- Colocar el valor correspondiente en el registro R7
- Llamar a la subrutina DISPLAY, disminuyendo en 1 el valor del registro R7 cada vez que se llama a esta subrutina; hasta que R7 sea cero

Fin de Tarea

En el procedimiento de la subrutina CONVNV, se tiene las siguientes tareas:

Convertir el valor hexadecimal del número de volteos, en un valor decimal entre 0 y 96

- Poner en el acumulador el valor de la localidad NUMVOLTEOS
- Poner en el registro B el número 0AH
- Dividir el acumulador por el registro B
- Poner en la localidad DTUNID el valor del acumulador
- Poner en la localidad DTDECI el valor del registro B

Fin de Tarea

En el procedimiento de la subrutina CONVTG, se tiene las siguientes tareas:

Convertir el valor hexadecimal de la temperatura, en un valor decimal entre 15,0 y 40,5

- Poner en el registro B el número 0AH
- Dividir el acumulador por el registro B
- Si el acumulador es menor o igual a 04H, saltar a "Valor de la temperatura entre 15,0 y 19,9; caso contrario realizar las siguientes tareas:
- Si el acumulador es menor o igual a 0EH, saltar a "Valor de la temperatura entre 20,0 y 29,9; caso contrario realizar las siguientes tareas:
- Si el acumulador es menor o igual a 18H, saltar a "Valor de la temperatura entre 30,0 y 39,9; caso contrario realizar las siguientes tareas:
- Poner en la localidad DTDECE el número 04H y en la localidad DTUNID el número 00H
- Saltar a "Colocar el valor en la localidad DTDECI"

Fin de Tarea

Valor de la temperatura entre 15,0 y 19,9

- Poner en la localidad DTDECE el número 01H
- Incrementar en 5 el acumulador
- Poner en la localidad DTUNID el valor del acumulador
- Saltar a "Colocar el valor en la localidad DTDECI"

Fin de Tarea

Valor de la temperatura entre 20,0 y 29,9

- Poner en la localidad DTDECE el número 02H
- Disminuir en 5 el acumulador
- Poner en la localidad DTUNID el valor del acumulador
- Saltar a "Colocar el valor en la localidad DTDECI"

Fin de Tarea

Valor de la temperatura entre 30,0 y 39,9

- Poner en la localidad DTDECE el número 03H
- Restar del acumulador el número 0FH
- Poner en la localidad DTUNID el valor del acumulador
- Saltar a "Colocar el valor en la localidad DTDECI"

Fin de Tarea

Colocar el valor en la localidad DTDECI

- Poner en la localidad DTDECI el valor del registro B

Fin de Tarea

En el procedimiento de la subrutina MOVHOR, se tiene las siguientes tareas:

Generar un pulso de activación en cada una de las 4 bobinas del motor de pasos, produciendo un movimiento en sentido horario en el eje del motor

- Activar una bobina (P1.4 = 0)
- Llamar 2 veces a la subrutina DISPLAY
- Desactivar todas las bobinas
- Llamar a la subrutina RETARDO2
- Activar otra bobina (P1.5 = 0)
- Llamar 2 veces a la subrutina DISPLAY
- Desactivar todas las bobinas

- Llamar a la subrutina RETARDO2
- Activar otra bobina (P1.6 = 0)
- Llamar 2 veces a la subrutina DISPLAY
- Desactivar todas las bobinas
- Llamar a la subrutina RETARDO2
- Activar otra bobina (P1.7 = 0)
- Llamar 2 veces a la subrutina DISPLAY
- Desactivar todas las bobinas
- Llamar a la subrutina RETARDO2

Fin de Tarea

En el procedimiento de la subrutina MOVANHOR, se tiene las siguientes tareas:

Generar un pulso de activación en cada una de las 4 bobinas del motor de pasos, produciendo un movimiento en sentido anti-horario en el eje del motor

- Activar una bobina (P1.7 = 0)
- Llamar 2 veces a la subrutina DISPLAY
- Desactivar todas las bobinas
- Llamar a la subrutina RETARDO2
- Activar otra bobina (P1.6 = 0)
- Llamar 2 veces a la subrutina DISPLAY
- Desactivar todas las bobinas
- Llamar a la subrutina RETARDO2
- Activar otra bobina (P1.5 = 0)
- Llamar 2 veces a la subrutina DISPLAY
- Desactivar todas las bobinas
- Llamar a la subrutina RETARDO2
- Activar otra bobina (P1.4 = 0)
- Llamar 2 veces a la subrutina DISPLAY
- Desactivar todas las bobinas
- Llamar a la subrutina RETARDO2

Fin de Tarea

En el procedimiento de la subrutina de INTERRUPCION EXTERNA 0, se tiene las siguientes tareas:

Tecla SUBIR presionada

- Bandera 1= 1L (ver Número de volteos en el display), realizar:
 - Poner en el acumulador el Número de volteos
 - Si el Número de volteos es menor de 96: incrementar éste en 12, colocar en el registro R6 el valor correspondiente a este Número de volteos, y saltar a "Finalizar subrutina". Caso contrario: Saltar a "Finalizar subrutina"
- Bandera 1= 0L (Ver la temperatura en el display), realizar:
 - Poner en el acumulador la Temperatura de referencia
 - Setear la Bandera 3 (Ver la temperatura de referencia en el display)
 - Si la Bandera 2 = 1L (Aumenta la temperatura de referencia al pasar por segunda vez) y si la Temperatura de referencia es menor a 38 grados, incrementar ésta en 0,1 grados. Caso contrario: Setear la Bandera 2, y Saltar a "Finalizar subrutina"

Fin de Tarea**Tecla BAJAR presionada**

- Bandera 1= 1L (ver Número de volteos en el display), realizar:
 - Poner en el acumulador el Número de volteos
 - Si el Número de volteos es mayor a 0: disminuir éste en 12, colocar en el registro R6 el valor correspondiente a este Número de volteos, y saltar a "Finalizar subrutina". Caso contrario: Saltar a "Finalizar subrutina"
- Bandera 1= 0L (Ver la temperatura en el display), realizar:
 - Poner en el acumulador la Temperatura de referencia
 - Setear la Bandera 3
 - Si la Bandera 2 = 1L, y si la Temperatura de referencia es mayor a 30 grados, disminuir ésta en 0,1 grados. Caso contrario: Setear la Bandera 2, y Saltar a "Finalizar subrutina"

Fin de Tarea**Tecla de MOVIMIENTO MANUAL presionada**

- Leer el estado de los sensores de fin de carrera
- Si Fin de carrera 1 = 1L: Saltar a "Mover en sentido anti-horario el motor". Caso contrario realizar:
- Si la bandera 4 = 1L: Saltar a "Mover en sentido anti-horario el motor". Caso contrario: Saltar a "Mover en sentido horario el motor"

Fin de Tarea**Mover en sentido anti-horario el motor**

- Leer el otro sensor de Fin de carrera (Fin de carrera 2)

- Si Fin de carrera 2 = 0L realizar lo siguiente: Setear la Bandera 4, Llamar a la rutina MOVANHOR. Caso contrario: Saltar a "Mover en sentido horario el motor"

Fin de Tarea

Mover en sentido horario el motor

- Llamar a la subrutina MOVHOR
- Borrar la Bandera 4

Fin de Tarea

Detección de AUSENCIA DE CORRIENTE en el motor

- Deshabilitar las interrupciones INT1 y TFO
- Encender led de alarma de Mal ventilador
- Activar el parlante por un segundo (Llamar a la subrutina RETARDO3)
- Saltar a "Finalizar la subrutina"

Fin de Tarea

Finalizar la subrutina

- Llamar a la subrutina RETARDO3
- Borrar la Bandera 3

Fin de Tarea

En el procedimiento de la subrutina de INTERRUPCIÓN EXTERNA 1, se tiene las siguientes tareas:

Calcular el error entre la temperatura de referencia y la temperatura medida

- Poner en el acumulador el valor de la temperatura de referencia
- Restar el valor del acumulador del valor de la temperatura medida

Fin de Tarea

Colocar la potencia en el calentador de acuerdo al valor del error y de la temperatura de referencia

Temperatura de referencia mayor o igual a 34,0 grados

- Error igual a -0,1 grados: Saltar a "Poner 1/2 de potencia en el calentador"
- Error igual a -0,2 grados: Saltar a "Poner 1/4 de potencia en el calentador"
- Error menor a -0,2 grados: Saltar a "Potencia cero en el calentador"
- Error igual a cero grados: Saltar a "Poner 3/4 de potencia en el calentador"
- Error mayor a cero grados: Saltar a "Poner potencia total en el calentador"

Fin de Tarea**Temperatura de referencia menor a 34,0 grados**

- Error igual a -0,1 grados: Saltar a “Poner 1/4 de potencia en el calentador”
- Error menor a -0,1 grados: Saltar a “Potencia cero en el calentador”
- Error igual a cero grados: Saltar a “Poner 1/2 de potencia en el calentador”
- Error igual a 0,1 o 0,2 grados: Saltar a “Poner 3/4 de potencia en el calentador”
- Error igual a 0,3 o 0,4 grados: Saltar a “Poner potencia total en el calentador”, si la temperatura de referencia está entre 33,0 y 33,9 grados; o saltar a “Poner 3/4 de potencia en el calentador”, si la temperatura de referencia es menor a 33,0 grados
- Error igual a 0,5 - 0,6 o 0,7 grados: Saltar a “Poner potencia total en el calentador”, si la temperatura de referencia está entre 32,0 y 33,9 grados; o saltar a “Poner 3/4 de potencia en el calentador”, si la temperatura de referencia es menor a 32,0 grados
- Error igual a 0,8 o 0,9 grados: Saltar a “Poner potencia total en el calentador”, si la temperatura de referencia está entre 31,0 y 33,9 grados; o saltar a “Poner 3/4 de potencia en el calentador”, si la temperatura de referencia es menor a 31,0 grados
- Error mayor a 0,9 grados: Saltar a “Poner potencia total en el calentador”

Fin de Tarea**Potencia cero en el calentador**

- Apagar todos los leds de la barra de 4 leds

Fin de Tarea**Poner 1/4 de potencia en el calentador**

- Encender led inferior de la barra de 4 leds
- Poner en TH0 y TL0 (Registros del Timer 0), los valores para 1/4 de potencia en el calentador
- Arrancar el Timer 0

Fin de Tarea**Poner 1/2 de potencia en el calentador**

- Encender los 2 leds inferiores de la barra de 4 leds
- Poner en TH0 y TL0, los valores para 1/2 de potencia en el calentador
- Arrancar el Timer 0

Fin de Tarea**Poner 3/4 de potencia en el calentador**

- Encender los 3 leds inferiores de la barra de 4 leds
- Poner en TH0 y TL0, los valores para 3/4 de potencia en el calentador

- Arrancar el Timer 0

Fin de Tarea

Poner potencia total en el calentador

- Encender los 4 leds de la barra
- Poner en TH0 y TLO, los valores para potencia total en el calentador
- Arrancar el Timer 0

Fin de Tarea

En el procedimiento de la subrutina de INTERRUPCION POR DESBORDAMIENTO DEL TIMER 0, se tiene las siguientes tareas:

Dar el pulso de activación del triac (Control del calentador)

- Parar el Timer 0
- Setear el pin 3 del Pórtico 1 (Activar el triac)
- Borrar el pin 3 del Pórtico 1

Fin de Tarea

En el procedimiento de la subrutina de INTERRUPCION POR DESBORDAMIENTO DEL TIMER 1, se tiene las siguientes tareas:

Llamar a la subrutina MOVHOR o la subrutina MOVANHOR, hasta llegar al fin de carrera del movimiento de la bandeja correspondiente

- Disminuye en 1 el registro R5
- $R5 \neq 0$ Finalizar la subrutina, $R5 = 0$, realizar las siguientes tareas:
- Disminuir en 1 el registro R6
- $R6 \neq 0$ Poner el valor correspondiente en R5 y Finalizar la subrutina, $R6 = 0$, realizar las siguientes tareas:
- Poner en R6 el valor correspondiente
- Leer los fines de carrera
- Fin de carrera 1 = 1L, Llamar a la subrutina MOVANHOR hasta que se cumpla una de las 2 condiciones: Fin de carrera 2 = 1L, o si al disminuir en 1 el lazo formado por R0 y R1 éste llega a cero (para dar el tiempo máximo de permanencia en esta subrutina)

- Fin de carrera 1 = 0L, Llamar a la subrutina MOVHOR hasta que se cumpla una de las 2 condiciones: Fin de carrera 1 = 1L, o si al disminuir en 1 el lazo formado por R0 y R1 éste llega a cero.
- Poner el valor correspondiente en los registros R0 y R1

Fin de Tarea

3.4 CONTROL DE TEMPERATURA EN LA INCUBADORA

Por ser la temperatura una variable que no cambia drásticamente con el tiempo, y por no ser necesario un control tan exacto de la temperatura en la incubación de huevos de aves; se ha implementado una acción de control multiposicional de 5 posiciones. Estas 5 posiciones se refieren a que en el actuador, en este caso en el calentador, variará su potencia de acuerdo a la temperatura de referencia a la que se quiere llegar; y al error que exista entre ésta y la temperatura medida.

Este error se calcula en el microcontrolador Intel 8751 a partir de la temperatura de referencia ingresada por el usuario a través del teclado, y la temperatura medida a través de un sensor de temperatura cuya señal es acondicionada para luego ser digitalizada por un conversor A/D de 8 bits (ADC0804) y enviada hacia el microcontrolador. En la Tabla 3.1, se muestra la variación de las 5 posiciones de la potencia del calentador; estos resultados fueron conseguidos experimentalmente, luego de la realización de varias pruebas.

TABLA 3.1 Potencia del elemento de calefacción

Temp. referen. (°C)	Error = T.Ref - T.Med (°C)	Potencia
30,0 - 30,9	$E > 0,9$	Total
	$0,9 \leq E \leq 0,1$	3/4 Total
	$E = 0$	1/2 Total
	$E = -0,1$	1/4 Total
	$E \leq -0,2$	Cero
31 - 31,9	$E > 0,7$	Total
	$0,7 \leq E \leq 0,1$	3/4 Total
	$E = 0$	1/2 Total
	$E = -0,1$	1/4 Total
	$E \leq -0,2$	Cero
32,0 - 32,9	$E > 0,4$	Total
	$0,4 \leq E \leq 0,1$	3/4 Total
	$E = 0$	1/2 Total
	$E = -0,1$	1/4 Total
	$E \leq -0,2$	Cero
33,0 - 33,9	$E > 0,2$	Total
	$0,2 \leq E \leq 0,1$	3/4 Total
	$E = 0$	1/2 Total
	$E = -0,1$	1/4 Total
	$E \leq -0,2$	Cero
34,0 - 38,0	$E > 0$	Total
	$E = 0$	3/4 Total
	$E = -0,1$	1/2 Total
	$E = -0,2$	1/4 Total
	$E \leq -0,3$	Cero

El microcontrolador de acuerdo a la tabla anterior, emite o no un pulso a través del pin 3 del Pórtico 1 para activar el triac y por lo tanto el calentador. Este pulso, si es emitido, debe ser producido cada 8,33 ms., ya que el triac se apaga automáticamente cuando la corriente se hace cero, lo cual sucede, por ser el calentador una carga resistiva, cuando la señal de voltaje AC cruza por cero. Como ya se mencionó en el Capítulo 2 sobre el calentador se ha establecido un control de fase directo.

La interrupción externa 1 del microcontrolador es usada para la detección del cruce por cero de la onda de voltaje AC de la red. De acuerdo a la Tabla 3.1, se coloca los valores adecuados en los registros TH0 y TLO del timer 0 usado como temporizador de 16 bits, y se arranca éste cuando se produce esta interrupción externa 1. Cuando el timer 0 cambia del número FFFFH al número 0000H se produce una interrupción por desbordamiento de este timer, y es aquí cuando el microcontrolador emite el pulso de activación del triac que controla al calentador.

CALCULO DE LOS VALORES DE TH0 Y TLO

La potencia total del calentador es:

$$P_{TOTAL} = \frac{(V_s)^2}{R}$$

Donde: V_s = Valor eficaz del voltaje AC = 110V

R = Resistencia del calentador

La potencia del calentador siempre es igual a:

$$P_{\text{CALENTADOR}} = \frac{(V_{\text{RMS}})^2}{R}$$

Para el control de fase directo el voltaje rms varía con el ángulo de activación α , así:

$$V_{\text{RMS}} = V_s \left\{ \frac{1}{\pi} \left[\pi - \alpha + \frac{1}{2} \text{Sen}(2\alpha) \right] \right\}^{1/2}$$

Para 1/4 de la potencia total del calentador se tiene:

$$\frac{V_s^2}{R} \left\{ \frac{1}{\pi} \left[\pi - \alpha + \frac{1}{2} \text{Sen}(2\alpha) \right] \right\} = \frac{V_s^2}{4R}$$

De donde:

$$\frac{1}{\pi} \left[\pi - \alpha + \frac{1}{2} \text{Sen}(2\alpha) \right] = \frac{1}{4}$$

Resolviendo se obtiene que $\alpha = 113,83^\circ$

Se sabe que 180° de la onda de voltaje AC equivalen a 8,33 mseg., haciendo una regla de tres se puede determinar el tiempo correspondiente al ángulo de activación de $113,83^\circ$.

$$\alpha = \frac{113,83^\circ \times 8,33 \text{ mseg}}{180^\circ} = 5,27 \text{ mseg}$$

Para 1/2 de la potencia total del calentador se tiene:

$$\frac{V_s^2}{R} \left\{ \frac{1}{\pi} \left[\pi - \alpha + \frac{1}{2} \text{Sen}(2\alpha) \right] \right\} = \frac{V_s^2}{2R}$$

De donde:

$$\frac{1}{\pi} \left[\pi - \alpha + \frac{1}{2} \text{Sen}(2\alpha) \right] = \frac{1}{2}$$

Resolviendo se obtiene que $\alpha = 90^\circ = 4,166$ mseg.

Para 3/4 de la potencia total del calentador se tiene:

$$\frac{V_s^2}{R} \left\{ \frac{1}{\pi} \left[\pi - \alpha + \frac{1}{2} \text{Sen}(2\alpha) \right] \right\} = \frac{3V_s^2}{4R}$$

De donde:

$$\frac{1}{\pi} \left[\pi - \alpha + \frac{1}{2} \text{Sen}(2\alpha) \right] = \frac{3}{4}$$

Resolviendo se obtiene que $\alpha = 66,17^\circ = 3,06$ mseg.

Para el cálculo de los valores de TH0 y TLO, se realiza una regla de tres considerando que 1 ciclo de máquina (12 ciclos de reloj) equivale a 1,6276 μ seg., ya que la frecuencia de oscilación es la del cristal de 7,3728 MHz utilizado. Para 1/4 de potencia se tiene:

$$\#CM = \frac{5,27 \text{ mseg} \times 1CM}{1,6276 \mu\text{seg}} = 3238CM$$

En código hexadecimal #CM = 0CA6H.

Realizando el complemento de este número ya que la transición se produce en el timer 0 de FFFFH a 0000H se tiene que #CM = F35AH. Por lo tanto los valores colocados en los 2 registros del timer 0 para 1/4 de potencia son: TH0 = F3H y TLO = 5AH.

Siguiendo el mismo procedimiento para 1/2 potencia y 3/4 de potencia se tiene que los valores de los registros del timer 0 son:

Para 1/2 potencia: TH0 = F6H y TL0 = 04H

Para 3/4 de potencia: TH0 = F8H y TL0 = A6H

Cuando la potencia del calentador es cero, simplemente no se coloca ningún valor en TH0 y TL0, y no se arranca el timer0. Para la potencia total los valores puestos en los registros son: TH0 = FFH y TL0 = FDH; que son valores que en 2 ciclos de máquina producirán la interrupción por desbordamiento del timer0, emitiendo así, rápidamente el pulso de activación en el triac.

3.5 CALCULO DE LOS VALORES COLOCADOS EN LOS DIFERENTES REGISTROS

Este literal justifica los valores que se han colocado en los registros utilizados en el desarrollo del software.

SUBROUTINA DISPLAY

En esta subrutina se realiza el barrido de los 3 displays, activándolos por aproximadamente 1,2 mseg. (duración de la subrutina RETARDO1) a cada uno. Se deja un espacio de zona muerta de 0,12 mseg. (duración de la subrutina RETARDO2) entre la activación de cada display para evitar el efecto

sombra. Con este tiempo de activación y de zona muerta se ha conseguido una intensidad adecuada en los displays. De acuerdo a estos tiempos, esta rutina dura aproximadamente 4 mseg.

Además en esta subrutina se lee el dato de la temperatura medida al interior de la incubadora; esta lectura se la hace cada segundo. Para lograr esto, en el software se lee la temperatura medida cuando el registro R3 es igual a cero; este registro es disminuido en 1 cada vez que se llama a esta subrutina. Sabiendo que la duración de esta rutina es de 4 mseg., el valor de R3 para obtener un tiempo de 1 seg. es de aproximadamente 250; por lo tanto en R3 se coloca el número FAH.

SUBROUTINA RETARDO2

Produce un retardo aproximado de 0,12 mseg usando el registro R4. El valor correspondiente a R4 se calcula así:

	<u>PROGRAMA</u>	<u># DE CICLOS DE MAQUINA</u>
RETARDO2:		
	MOV R4, #m	1
ESPERE:	DJNZ R4, ESPERE	2 x m
	RET	2

Como el cristal usado con el microcontrolador es de 7,3728Mhz; un ciclo de máquina compuesto por 12 ciclos de reloj dura 1,6276 μ seg.

$$\#CM = \frac{0,12mseg}{1,6276useg} = 73,73CM$$

$$1 + (2 \times m) + 2 = 73,73$$

$$m = \frac{73,73 - 3}{2} = 35,36CM$$

De donde $m = 35 = 23H = R4$

SUBROUTINA RETARDO1

Esta rutina produce un retardo de 1,2 mseg. Utiliza el registro R2 y la subrutina RETARDO2. El valor que se coloca en R2 es 0AH, con el fin de repetir 10 veces la subrutina RETARDO2, y así conseguir 1,2 mseg aproximadamente.

SUBROUTINA RETARDO3

Genera un retardo de 1 seg. Utiliza el registro R7 y la subrutina DISPLAY. El valor que se coloca en R7 es FAH, con el fin de repetir 250 veces la subrutina DISPLAY, y así conseguir 1 seg aproximadamente.

SUBROUTINA MOVHOR O MOVANHOR

Activa las bobinas del motor de pasos, conectadas al pÓrtico P1 así: P1.4, P1.5, P1.6 y P1.7. La duración de cada pulso de activación es de aproximadamente 8 mseg (2 veces la rutina DISPLAY), y un tiempo muerto entre pulsos

de 0,1 mseg (rutina RETARDO2). Por lo tanto cada subrutina tiene un tiempo de duración de 32,4 mseg aproximadamente.

SUBROUTINA DE INTERRUPCION POR DESBORDAMIENTO DEL TIMER 1

Se usa en la generación del tiempo para mover automáticamente el motor de pasos y consecuentemente la bandeja. Mediante la disminución de los registros R5 y R6 cada vez que se atiende a esta rutina, se logra generar tiempos tan largos como 2 horas para mover la bandeja 12 veces por día por ejemplo. En realidad se debe variar sólo el valor de R6 para aumentar o disminuir el tiempo al cual se dará el movimiento; el cálculo de R5 y R6 se realiza de la siguiente manera:

El Timer 1 se encuentra trabajando como un temporizador de 16 bits; los registros del timer se inicializan en TH1 = 00H, y TL1 = 01H. Para producir una interrupción por desbordamiento se necesitan FFFFH = 65535 ciclos de máquina; sabiendo que cada ciclo de máquina tiene una duración de 1,6276 μ seg, se tiene que cada interrupción se producirá en:

$$65535 \times 1,6276 \mu\text{seg} = 0,106665 \text{ seg.}$$

Ahora tomando como ejemplo el volteo de 96 veces por día, se tiene que éste debe realizarse cada 15 minutos, es decir cada 900 seg. Los registros R5 y R6 en el programa forman un lazo anidado, que se disminuye en uno cada vez que esta interrupción es atendida; si R5 es siempre igual a FFH y el

valor de R6 corresponde al lazo externo, en otras palabras R6 disminuye en uno cada vez que R5 llega a cero, es decir luego de 255 interrupciones, que en tiempo real es: $255 \times 0,106665 \text{ seg.} = 27,199575 \text{ seg.}$; entonces el valor aproximado de R6 para obtener un tiempo de 900 seg. es:

$$R6 = \frac{900 \text{ seg}}{27,199575 \text{ seg}} = 33,09 \approx 33 \equiv 21H$$

Este es el valor de R6 para 96 volteos/día

Siguiendo el mismo procedimiento se puede calcular el valor de R6 para otros números de volteos por día, los resultados de estos cálculos se muestran en la Tabla 3.2

TABLA 3.2 Valores de R6 para el movimiento automático

# DE VOLTEOS POR DIA	TIEMPO EN SEGUNDOS	R6 (HEX)
12	7200	FFH
24	3600	84H
36	2400	58H
48	1800	42H
60	1440	34H
72	1200	2CH
84	1028,57	25H
96	900	21H

Los valores de R6 son aproximados. Es preciso recalcar que en el caso de 12 volteos por día, con el valor de R6 igual a FFH (255), no se logra 7200 seg.; el valor máximo de tiempo generado es de:

Máximo tiempo generado = $27,199575 \times 255 = 6935.891625$ seg.

Es decir no se logrará un volteo de 12 volteos por día sino un volteo de:

$$\#Volteos / día = \frac{86400seg / día}{6935.89seg / volteo} = 12,46volteos / día$$

En esta rutina se llama a la subrutina MOVHOR o MOVANHOR hasta que se llegue a uno de los fines de carrera, es decir la inclinación de la bandeja sea la adecuada.

En el caso de que el movimiento de la bandeja sea entre las posiciones extremas, el tiempo que tarda en completarse el movimiento se puede calcular, así:

En el Capítulo 2, en el diseño del sistema de movimiento, se calculó el número de pasos total para completar el movimiento de la bandeja, éste fue de 5850 pasos. La duración de la subrutina MOVHOR o MOVANHOR es de 32,4 mseg, e involucra el movimiento de 4 pasos. Por lo tanto el tiempo máximo para este movimiento, entre las posiciones extremas es de:

$$T_{max} = \frac{5850 \times 32,4mseg}{4} = 47,38seg$$

En caso de que ocurra algún evento imprevisto, como por ejemplo que el mecanismo de movimiento se trabe, el fusible de protección del motor de pasos se abra, o no se detecte el fin de carrera; el programa realizado contempla un tiempo de duración máximo de llegada a uno de los fines de

carrera, y así evitar que el programa se quede indefinidamente en esta subrutina. Este tiempo máximo de permanencia en esta rutina se lo realiza a través de un lazo anidado de los registros R0 y R1.

Para el cálculo de R0 y R1 se sobredimensiona el número de 5850 pasos calculado en el Capítulo 2, y se asume como de 10.000 pasos (en tiempo real 81 seg). Como las subrutinas MOVHOR o MOVANHOR involucran 4 pasos, debo llamar a una de estas 2 rutinas un máximo de: $10.000 / 4 = 2.500$ veces. El lazo anidado formado por R0 y R1 disminuye en uno cada vez que se llama a cualquiera de estas 2 subrutinas. Sea R1 el registro que se encuentra en la parte interna de este lazo anidado, y asumiendo $R1 = FFH$ (255); se tiene que R0 será de:

$$R0 = \frac{2500}{255} = 9,8 \approx 10 = 0AH$$

CAPITULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

El objetivo de este capítulo es detallar las pruebas realizadas sobre el equipo construido, las cuales permitirán probar su desempeño y sus características de funcionamiento bajo ciertas condiciones de trabajo. Los resultados obtenidos de estas pruebas, se muestran procurando que el lector tenga una visión completa de las ventajas y desventajas del sistema.

4.1 PRUEBAS REALIZADAS

Como se mencionó anteriormente, dos de los factores indispensables para realizar una correcta incubación artificial son: controlar la temperatura al interior de lá incubadora, y mantener la humedad relativa interna dentro de ciertos valores. Por esta razón, las pruebas realizadas

tienen que ver con el control de la temperatura y la regulación de la humedad relativa.

4.1.1 PRUEBAS DEL CONTROL DE TEMPERATURA

Antes de la descripción de las pruebas realizadas, es preciso, para una clara comprensión del lector, definir ciertos términos utilizados en este capítulo. Estos términos corresponden a las características o especificaciones de respuesta transitoria y permanente.

t_r = Tiempo de subida. Es el tiempo que tarda en subir la temperatura al interior de la incubadora desde el valor inicial, hasta el valor de referencia deseado.

t_p = Tiempo de pico. Es el tiempo que tarda en subir la temperatura al interior de la incubadora desde el valor inicial, hasta el valor máximo de ésta.

M_p = Máximo sobre-impulso. Es la diferencia entre la temperatura máxima medida y la temperatura de referencia deseada.

t_s = Tiempo de establecimiento. Es el tiempo que tarda la temperatura medida en alcanzar la temperatura de referencia y permanecer dentro un margen de error aceptable. Este margen para este trabajo se ha establecido en $\pm 0,3^\circ\text{C}$.

E_r = Error en estado estable. Es el error entre la temperatura medida y la temperatura de referencia cuando se ha llegado al tiempo de establecimiento.

También es importante indicar que la calibración de la medición de la temperatura al interior de la incubadora, ha sido realizada utilizando como patrón un termómetro digital fabricado por RADIO SHACK de $0,1^{\circ}\text{C}$ de resolución y $\pm 1^{\circ}\text{C}$ de exactitud.

Se realizaron dos tipos de pruebas de control de temperatura:

PRIMER TIPO

Corresponden a este tipo, una cantidad considerable de pruebas realizadas para varios valores de la temperatura de referencia. Estas pruebas se realizaron con el objetivo de establecer experimentalmente los valores adecuados para el control multiposicional de la potencia del calentador, y que se muestran en la Tabla 3.1.

Es decir mediante estas pruebas se estableció los valores adecuados para el control de temperatura implementado. Estas pruebas no se describen en este trabajo, pues, para el lector son más importantes las pruebas que a continuación se describen, y que corresponden al control de temperatura con los valores adecuados obtenidos experimentalmente.

SEGUNDO TIPO

Corresponden a las pruebas realizadas, una vez establecidos los valores adecuados para el control de temperatura. Estas pruebas se realizaron con la finalidad de probar el

desempeño del equipo construido frente a varias condiciones de trabajo. Estas pruebas son las siguientes:

- PRUEBA # 1: Se realizó esta prueba para una temperatura de referencia de 30°C, puesto que ésta es la temperatura mínima a la que la incubadora puede controlar. Para la realización de esta prueba, se procedió a encender el equipo y a comenzar a calentar el interior de la incubadora a partir de la temperatura ambiente (21,5°C para esta prueba). Esto se realizó con el fin de obtener características del control de temperatura implementado como el máximo sobre-impulso, tiempo de subida, y tiempo de establecimiento desde la temperatura ambiente hasta la temperatura deseada de 30°C en este caso. Esta prueba se la realizó con el compartimento para el agua vacío.
- PRUEBA # 2: Esta prueba es idéntica a la anterior, con dos diferencias básicas: la temperatura ambiente para esta prueba es 20,3°C y el compartimento para el agua contiene 4,5 litros de agua. El objetivo de esta prueba es el comparar las características de respuesta transitoria y permanente obtenidas en esta prueba, con las obtenidas en la primera prueba.
- PRUEBA # 3: Se realizó esta prueba para una temperatura de referencia de 37°C, puesto que ésta es la temperatura óptima de incubación. Al igual que en la prueba # 1, se procedió a encender y empezar a calentar, partiendo de la temperatura ambiente (20,5°C para esta prueba). Esto se realizó igualmente, con el fin de obtener características del control de temperatura implementado como el máximo sobre-impulso, tiempo de subida, y tiempo de establecimiento desde la temperatura ambiente hasta la

temperatura deseada de 37°C en este caso. Esta prueba se la realizó con el compartimento para el agua vacío.

- PRUEBA # 4: Esta prueba es semejante a la prueba # 3 con 2 diferencias: la temperatura ambiente es 21,2°C y el compartimento para el agua contiene 4,5 litros de agua. El objetivo de esta prueba es el comparar las características de respuesta transitoria y permanente obtenidas en esta prueba, con las obtenidas en la prueba # 3.
- PRUEBA # 5: Se la realiza con el compartimento para el agua vacío; y a una temperatura de referencia de 37°C, cuando ya se ha llegado al tiempo de establecimiento. Esta prueba radica en producir intencionalmente una perturbación, la cual consiste en abrir la ventanilla frontal por 3 minutos y luego cerrarla. Esto se realiza con la finalidad de averiguar como responde el control de temperatura implementado frente a esta perturbación.
- PRUEBA # 6: Al igual que la prueba anterior, se la realiza con el compartimento para el agua vacío; y a una temperatura de referencia de 37°C, cuando ya se ha llegado al tiempo de establecimiento. Esta prueba radica en producir intencionalmente otra perturbación, la cual consiste en levantar la cúpula por 2 minutos y luego cerrarla. Esto se realiza también, con el fin de averiguar como responde el control de temperatura implementado frente a este tipo de perturbación.

4.1.2 PRUEBAS DE REGULACION DE LA HUMEDAD RELATIVA

La humedad relativa al interior de la incubadora se puede regular al colocar o no agua en un compartimento, por el cual pasa parte del aire caliente proveniente del calentador.

La humedad relativa, en este trabajo, ha sido medida directamente mediante dos clases de higrómetros:

- Un higrómetro digital de marca Radio Shack, de 1% de HR de resolución, y con compensación de temperatura para mayor exactitud en la medición.
- Un higrómetro análogo de marca HAEMI, fabricado en Suiza, de 2% de HR de resolución.

Se realizaron pruebas en el sistema de humidificación para las temperaturas de referencia de 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37 y 38°C; cuando ya se ha llegado al tiempo de establecimiento en cada una de estas temperaturas. Estas pruebas se realizaron tanto con el compartimento vacío como con el compartimento con 4,5 litros de agua; con el objetivo de averiguar los valores de humedad relativa obtenidos en cada una de estas condiciones de trabajo.

La humedad relativa inicial en estas pruebas corresponde a la humedad relativa existente en el medio ambiente.

4.2 RESULTADOS

En este numeral se presentan los resultados de las pruebas realizadas de control de temperatura y de regulación de la humedad relativa.

4.2.1 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE CONTROL DE TEMPERATURA

En este numeral se presentan los resultados de las pruebas de control de temperatura de segundo tipo descritas anteriormente.

RESULTADOS DE LA PRUEBA # 1

Las condiciones en las que se realizó esta prueba son:

- Temperatura inicial de operación: 21,5°C
- Temperatura de referencia: 30°C
- Compartimento para el agua: vacío

En la Figura 4.1 puede verse la curva característica de la temperatura medida versus el tiempo, resultado de la realización de esta prueba.

NOTA: Para mostrar con mejor detalle la zona más importante de la curva; en la Figura 4.1 no se grafica desde cero en el eje horizontal (eje del tiempo). Esta nota debe tomarse en cuenta para las figuras correspondientes a las Pruebas 2, 3 y 4.

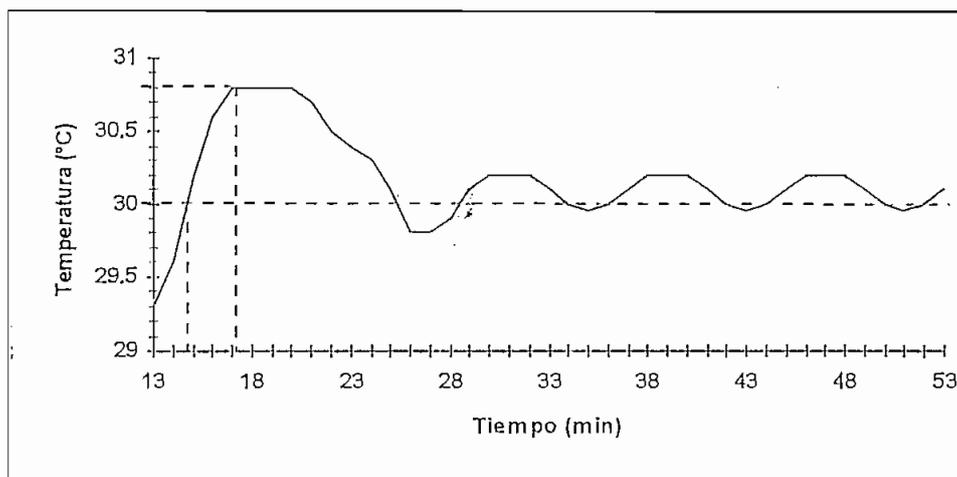


FIGURA 4.1 Control de temperatura a 30°C (sin agua)

Los valores de las características de respuesta transitoria y permanente, obtenidas de la Figura 4.1 son:

$$t_r = 14,7 \text{ min.}$$

$$t_p = 17,2 \text{ min.}$$

$$M_p = 0,8^\circ\text{C}$$

$$t_s = 28 \text{ min.}$$

$$E_r = +0,2^\circ\text{C}, -0,1^\circ\text{C}$$

RESULTADOS DE LA PRUEBA # 2

Las condiciones en las que se realizó esta prueba son:

- Temperatura inicial de operación: 20,3°C
- Temperatura de referencia: 30°C
- Compartimento para el agua: 4,5 litros de agua

En la Figura 4.2 puede verse la curva característica de la temperatura medida versus el tiempo, resultado de la realización de esta prueba.

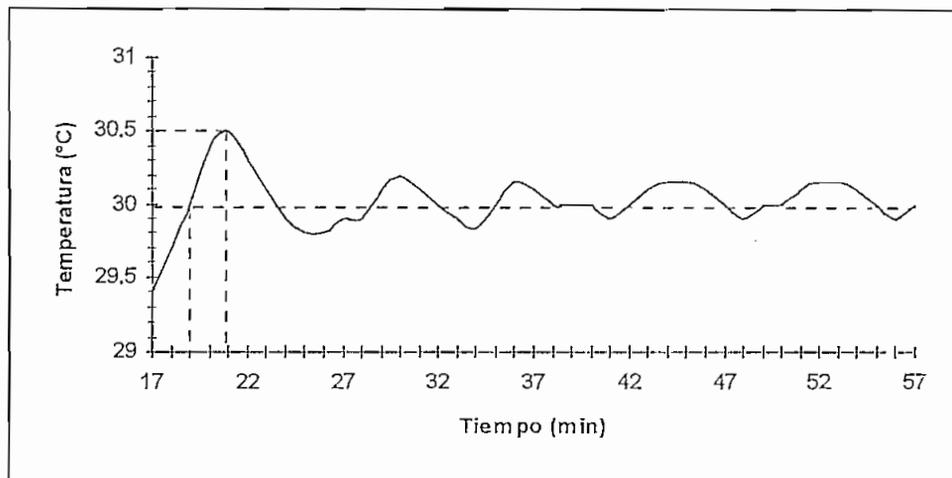


FIGURA 4.2 Control de temperatura a 30°C (con agua)

Las características obtenidas de la Figura 4.2 son:

$$t_r = 19,0 \text{ min.}$$

$$t_p = 20,9 \text{ min.}$$

$$M_p = 0,5^\circ\text{C}$$

$$t_s = 29 \text{ min.}$$

$$E_r = +0,2^\circ\text{C}, -0,1^\circ\text{C}$$

RESULTADOS DE LA PRUEBA # 3

Las condiciones en las que se realizó esta prueba son:

- Temperatura inicial de operación: 20,5°C
- Temperatura de referencia: 37°C
- Compartimento para el agua: vacío

En la Figura 4.3 puede verse la curva característica de la temperatura medida versus el tiempo, resultado de la realización de esta prueba.

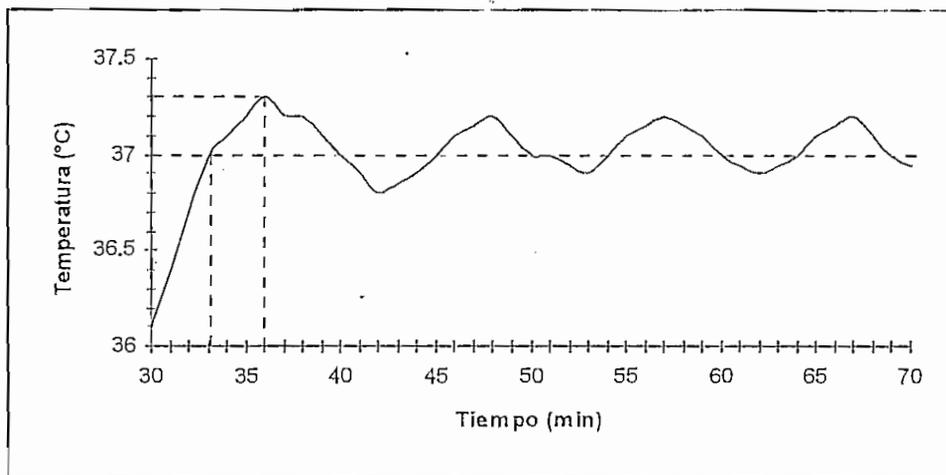


FIGURA 4.3 Control de temperatura a 37°C (sin agua)

Las características obtenidas de la Figura 4.3 son:

$$t_r = 33,1 \text{ min.}$$

$$t_p = 36,0 \text{ min.}$$

$$M_p = 0,3^\circ\text{C}$$

$$t_s = 44 \text{ min.}$$

$$E_r = +0,2^\circ\text{C}, -0,1^\circ\text{C}$$

RESULTADOS DE LA PRUEBA # 4

Las condiciones en las que se realizó esta prueba son:

- Temperatura inicial de operación: 21,2°C
- Temperatura de referencia: 37°C
- Compartimento para el agua: 4,5 litros de agua

En la Figura 4.4 puede verse la curva característica de la temperatura medida versus el tiempo, resultado de la realización de esta prueba.

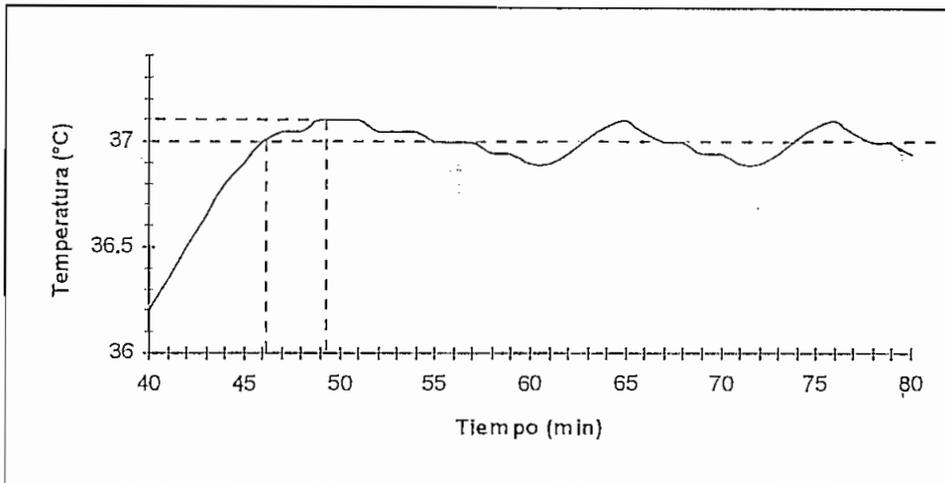


FIGURA 4.4 Control de temperatura a 37°C (con agua)

Las características obtenidas de la Figura 4.4 son:

$$t_r = 46,1 \text{ min.}$$

$$t_p = 49,3 \text{ min.}$$

$$M_p = 0,3^\circ\text{C}$$

$$t_s = 57 \text{ min.}$$

$$E_r = \pm 0,1^\circ\text{C}$$

RESULTADOS DE LA PRUEBA # 5

Se presentan los resultados de realizar una perturbación cuando se ha alcanzado la temperatura de referencia de 37°C y se ha llegado al tiempo de establecimiento. Esta perturbación consiste en abrir por tres minutos la ventanilla frontal y luego cerrarla. El compartimento para el agua se encuentra vacío.

En la Figura 4.5 se observa la curva resultado de la realización de esta prueba. La línea punteada A indica el momento en que se abre la ventanilla frontal, mientras que

la línea punteada B indica el momento en que se la cierra. Se observa que la temperatura desciende hasta $36,6^{\circ}\text{C}$ al abrir la ventanilla frontal, y sube hasta $37,3^{\circ}\text{C}$ al cerrarla; el tiempo de establecimiento es de 9 min. aproximadamente, desde el momento en que se cierra la ventanilla.

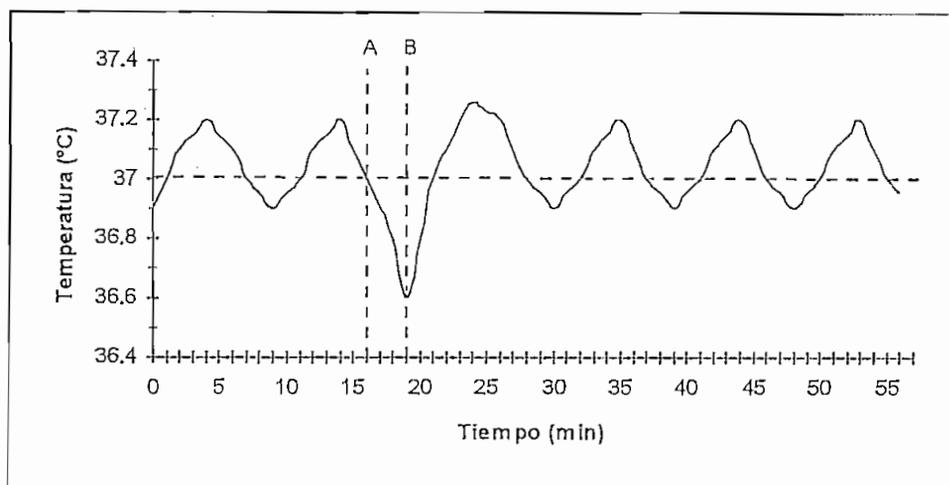


FIGURA 4.5 Respuesta a la primera perturbación

RESULTADOS DE LA PRUEBA # 6

Se presentan los resultados de realizar una perturbación cuando se ha alcanzado la temperatura de referencia de 37°C y se ha llegado al tiempo de establecimiento. Esta perturbación consiste en levantar por dos minutos la cúpula y luego cerrarla. El compartimento para el agua se encuentra vacío.

En la Figura 4.6 se observa la curva resultado de la realización de esta prueba. La línea punteada C indica el momento en que se levanta la cúpula, mientras que la línea punteada D indica el momento en que se la cierra. Se puede

ver que la temperatura desciende hasta 31,6°C al levantar la cúpula, y sube hasta 37,4°C al cerrarla; el tiempo de establecimiento es de 16 min. aproximadamente, desde el momento en que se cierra la cúpula.

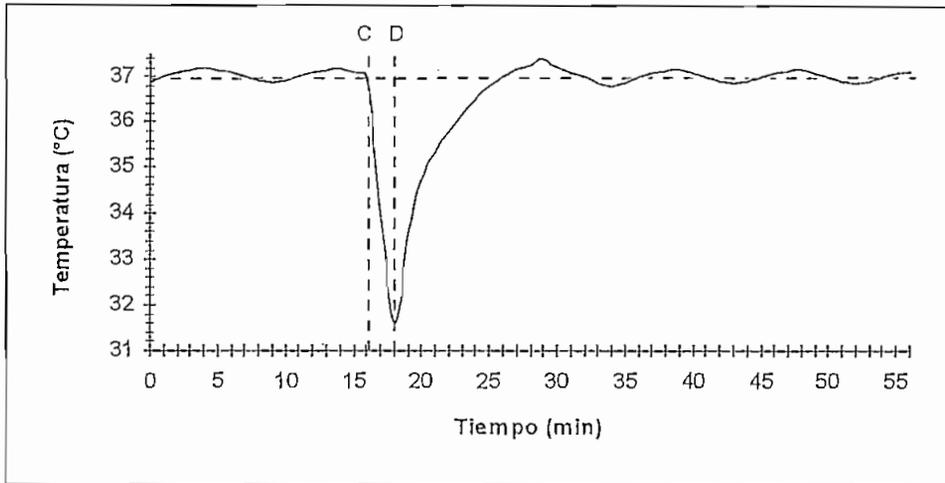


FIGURA 4.6 Respuesta a la segunda perturbación

4.2.2 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE REGULACION DE LA HUMEDAD RELATIVA

En la Tabla 4.1 se muestra los valores obtenidos de humedad relativa al interior de la incubadora para varias temperaturas y con la bandeja o compartimento para el agua tanto lleno (4,5 litros de agua), como vacío. Se muestran 2 columnas de datos para cada caso, debido a la diferencia existente entre las lecturas de los dos higrómetros utilizados.

Puede notarse que sin agua en la bandeja existe menos humedad (algo muy obvio) al interior de la cúpula, que si se tiene agua en la misma.

Además se observa que mientras la temperatura al interior de la incubadora aumenta, la humedad relativa disminuye; lo cual es lógico, pues una de las formas expuestas en el Capítulo 1 para disminuir la humedad relativa, es aumentar la temperatura sin variar la humedad absoluta.

TABLA 4.1 Lecturas de la Humedad Relativa

TEMPERATURA (°C)	HR (%)	
	(Bandeja sin agua)	(Bandeja con agua)
30,0	42 - 43	59 - 60
31,0	40 - 41	58 - 59
32,0	38 - 39	56 - 58
33,0	36 - 37	55 - 57
34,0	34 - 35	54 - 56
35,0	32 - 34	53 - 55
36,0	29 - 32	52 - 54
37,0	27 - 29	50 - 53
38,0	25 - 27	47 - 51

NOTA: Estas mediciones de humedad relativa fueron obtenidas en la ciudad de Quito, en otro sitio estas mediciones podrían variar dependiendo de la humedad relativa existente en el ambiente.

Los resultados de esta prueba, muestran que los valores de humedad relativa obtenidos al interior de la incubadora, están aproximadamente en el rango deseado de 50 a 60%.

4.3 ANALISIS ECONOMICO DEL EQUIPO CONSTRUIDO

Para establecer el costo del equipo construido, primeramente se calculará el costo de las materiales utilizados.

TARJETA MCPD51

CANT.	DETALLE	VALOR UNIT. (SUCRES)	VALOR TOTAL (SUCRES)
1	Tarjeta MCPD51	110.000	110.000
1	Zócalo de 40 pines	1.200	1.200
1	Zócalo de 24 pines	2.000	2.000
8	Zócalo de 20 pines	800	6.400
2	Zócalo de 16 pines	700	1.400
3	Zócalo de 14 pines	600	1.800
1	Zócalo de 8 pines	500	500
1	Conector de 6 pines	2.200	2.200
1	Postes para tarjeta 3x50	13.500	13.500
8	Capacitor de 0.1 uF	600	4.800
1	Capacitor de 0.22 uF	1.000	1.000
2	Capacitor polarizado 47 uF, 15V	1.200	2.400
2	Capacitor 30pF	1.000	2.000
1	Capacitor 10 uF, 15V	1.200	1.200
2	Rpack 10x10K Ω	1.700	3.400
1	Cristal 7.3728 Mhz	5.000	5.000
1	Diodos, resistencias	2.000	2.000
1	Transistor NPN 2N3904	500	500
1	Microcontrolador 8751	95.000	95.000

3	Cable plano con conector de 20 pines	7.000	21.000
3	C.I. 74LS244	3.700	11.100
3	C.I. 74LS373	4.000	12.000
1	C.I. CD40106	3.700	3.700
1	C.I. 74HC14	3.700	3.700
2	C.I. 74LS138	3.500	7.000
1	EPROM 2732	24.000	24.000
1	C.I. ADC0804	16.000	16.000
1	Conector DB9 macho para impreso	3.500	3.500
1	Botón de reset	2.000	2.000

SUBTOTAL 1: S/. 360.300

TARJETA # 1

CANT.	DETALLE	VALOR UNIT. (SUCRES)	VALOR TOTAL (SUCRES)
1	Impreso	13.000	13.000
1	Zócalo de 14 pines	600	600
2	Conector de 4 pines, y cable	5.000	10.000
2	Capacitor de 0.1 uF	600	1.200
10	Resistencias 1/4w	100	1.000
3	Potenciómetros	2.000	6.000
1	Zener 5,1V 1/2w	5.500	5.500
1	Regulador de voltaje de 5V LM7805	7.000	7.000
1	Sensor de temperatura LM335	15.000	15.000
1	C.I. TL084CN	7.900	7.900

SUBTOTAL 2: S/. 67.200

TARJETA # 2

CANT.	DETALLE	VALOR UNIT. (SUCRES)	VALOR TOTAL (SUCRES)
1	Impreso	15.000	15.000
1	Zócalo de 6 pines	500	500
2	Zócalo de 8 pines	500	1.000
1	Conector de 8 pines, y cable	6.000	6.000
2	Conector de 3 pines, y cable	2.000	4.000
4	Capacitor de 0.1 uF	600	2.400
1	Capacitor polarizado de 470 uF, 25V	1.300	1.300
1	Capacitor polarizado de 1 uF, 50V	1.300	1.300
11	Resistencias 1/4w	100	1.100
1	Resistencia 6,8 K Ω , 7W	2.500	2.500
5	Diodos	500	2.500
2	Puente rectificador, ECG5304	3.500	7.000
1	Zener de 15V, 1N4744	2.000	2.000
3	Transistores	500	1.500
1	Triac NTE 5635	18.000	18.000
1	Optoaislador PC817	9.000	9.000
2	Optoaislador NPN, 6N138	7.700	15.400

SUBTOTAL 3: S/. 90.500

TARJETA # 3

CANT.	DETALLE	VALOR UNIT. (SUCRES)	VALOR TOTAL (SUCRES)
1	Impreso	35.000	35.000
1	Zócalo de 20 pines	800	800

2	Zócalo de 16 pines	700	1.400
3	Zócalo de 14 pines	600	1.800
3	Zócalo de 8 pines	500	1.500
1	Zócalo de 40 pines	1.200	1.200
1	Conector de 4 pines	5.000	5.000
1	Conector DB9 hembra para impreso	3.500	3.500
3	Capacitor de 0.1 uF	600	1.800
28	Resistencias 1/4w	100	2.800
1	R-Pack 9 x 10KΩ	1.700	1.700
6	Leds dobles	500	3.000
3	Teclas	1.200	3.600
3	Displays de 7 segmentos ánodo común	4.500	13.500
3	Transistor Darlington PNP TIP115 (ECG262)	2.200	6.600
7	Transistores	500	3.500
1	C.I. 74LS244	3.700	3.700
1	C.I. ULN2003A	7.500	7.500
1	C.I. SN74LS48N	3.900	3.900

SUBTOTAL 4: S/. 101.800

TARJETA # 4

CANT.	DE TALLE	VALOR UNIT. (SUCRES)	VALOR TOTAL (SUCRES)
1	Impreso	27.000	27.000
1	Zócalo de 20 pines	800	800
1	Zócalo de 14 pines	600	600
1	Postes para tarjeta	10.000	10.000

3	Conector de 4 pines	5.000	15.000
2	Conector de 8 pines	6.000	12.000
2	Conector DB9 para impreso	3.500	7.000
3	Capacitor polarizado de 2200 uF, 25V	2.000	6.000
5	Resistencias 1/4w	100	500
2	Diodo de 6A	900	1.800
1	Transistor	500	500
4	Transistor NPN Darlington TIP120 (ECG261)	2.200	8.800
1	C.I. 74LS240	3.700	3.700
1	C.I. 74HC14	3.700	3.700

SUBTOTAL 5: S/. 97.400

TARJETA # 5

CANT.	DETALLE	VALOR UNIT. (SUCRES)	VALOR TOTAL (SUCRES)
1	Impreso	7.000	7.000
2	Conector de 4 pines, y cable	5.000	10.000
1	Conector DB9 para impreso	3.500	3.500
1	Portafusibles para impreso	1.300	1.300
1	Capacitor polarizado de 2.200 uF, 25V	2.000	2.000
5	Resistencias 1/4w	100	500

SUBTOTAL 6: S/. 24.300

GENERALES

CANT.	DETALLE	VALOR UNIT. (SUCRES)	VALOR TOTAL (SUCRES)
1	Motor AC, 110V. 1.750 rpm.	65.000	65.000
1	Termómetro de mercurio para incubadoras	35.000	35.000
1	Portatermómetro para incubadoras	30.000	30.000
1	Calentador tubular (110V) 194W	220.000	220.000
1	Módulo metálico de la incubadora, con soporte desmontable	400.000	400.000
1	Cúpula de acrílico, con ventanilla frontal	250.000	250.000
1	Ventilador AC	35.000	35.000
1	Fuente tipo de conmutación	135.000	135.000
1	Sistema de movimiento de los huevos	58.000	58.000
1	Motor de pasos	12.000	12.000
1	Programación de microcontrolador 8751	20.000	20.000
2	Interruptor optoacoplado ECG3100	13.500	27.000
1	Tornillos, pernos, tuercas, rodajas, sujetadores plásticos, cadenas, bisagras, agarraderas, cauchos, cable, suelta, bornera, conectores, portafusibles aéreo, etc.	85.000	85.000

SUBTOTAL 7: S/. 1'372.000

NOTA: Los materiales y elementos electrónicos utilizados pueden ser obtenidos con facilidad en el mercado nacional. Los precios corresponden a Marzo de 1998.

En la Tabla 4.2 se reúnen los costos de cada una de las tablas anteriores:

TABLA 4.2 Costo total de los materiales utilizados

SUBTOTAL 1	S/. 360.300
SUBTOTAL 2	S/. 67.200
SUBTOTAL 3	S/. 90.500
SUBTOTAL 4	S/. 101.800
SUBTOTAL 5	S/. 97.400
SUBTOTAL 6	S/. 24.300
SUBTOTAL 7	S/. 1'372.000
TOTAL	S/. 2'113.500

Al costo calculado por materiales utilizados, se debe añadir el valor de la mano de obra. Este valor se ha calculado tomando en cuenta el tiempo empleado en realizar el diseño y construcción del equipo; este tiempo se ha estimado aproximadamente en 4 meses. Asumiendo un costo mensual de S/. 1'800.000, se tiene que el valor total de la mano de obra es S/. 7'200.000.

Por lo tanto, el costo total del equipo construido es:

COSTO DE MATERIALES	S/. 2'113.500
MANO DE OBRA	S/. 7'200.000
TOTAL	S/. 9'313.500

Este costo se debería prorratear para todos los equipos vendidos en caso de una producción en serie.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El control de temperatura implementado mantiene la temperatura al interior de la incubadora con un margen de error en estado estable de $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ con respecto de la temperatura de referencia. Esto se demostró en los resultados de las pruebas realizadas, al obtenerse un error en estado estable de $+0,2^{\circ}\text{C}$ y $-0,1^{\circ}\text{C}$.
- El máximo sobre-impulso no excede el 1°C para el establecimiento de la temperatura, luego de una perturbación o al iniciar la operación del equipo.
- De los resultados obtenidos, se puede afirmar que el control de temperatura implementado mediante una acción multiposicional, es decir, mediante 5 posiciones fijas de la potencia del elemento de calefacción; cumple a

cabalidad con el objetivo de mantener una temperatura estable al interior de la incubadora.

- El tiempo que se demora en llegar hasta la temperatura de referencia deseada partiendo desde una temperatura inicial de operación igual a la temperatura ambiente; varía de acuerdo a la temperatura ambiente y sí el recipiente para el agua se encuentra lleno o vacío. Para una temperatura de referencia de 37°C, este tiempo podría ser hasta de 1 hora con el recipiente lleno de agua.
- Cuando el compartimento para el agua se encuentra lleno, el tiempo de establecimiento de la temperatura es mayor que cuando éste está vacío. Esto se debe a que el agua colocada está a una temperatura menor, en consecuencia, cuando el flujo de aire caliente proveniente del calentador pasa por el compartimento con agua, éste pierde parte del calor, haciendo que el tiempo de establecimiento resultante sea mayor.
- En este trabajo, no se realizó un control de la humedad relativa al interior de la incubadora, puesto que el objetivo era obtener valores de humedad relativa entre 50 y 60%, lo cual se logra al hacer pasar parte del aire caliente proveniente del calentador por un compartimento con agua, tal como se lo demuestra en la Tabla 4.1.
- Se ha comprobado que la humedad relativa disminuye al aumentar la temperatura, tal como se establece en la teoría.

- Existen factores ajenos al correcto funcionamiento de la incubadora que pueden afectar en la incubación, estos son:
 - * El manejo sin cuidado de los huevos.
 - * Mala limpieza de los huevos.
 - * Huevos que presenten fisuras en el cascarón.
 - * Huevos con el cascarón demasiado débil, tal que estos no pueden soportar la mínima vibración. Además el embrión para su desarrollo toma el calcio del cascarón, y si éste es muy fino, el embrión no alcanzará el desarrollo completo.
 - * Mala colocación de los huevos en la bandeja. Se debe colocarlos con la parte ancha hacia arriba.
 - * Realizar un número de volteos por día de los huevos inadecuado. Existen experiencias en la incubación artificial de huevos, que indican el número óptimo de veces por día que se debe voltear los huevos.
 - * Filtro posterior sucio, por lo cual la aireación no es la adecuada.

- Mantener una temperatura adecuada, es uno de los factores indispensables en la incubación, si la temperatura disminuye un cierto margen, el embrión no corre riesgo de morir, sólo existe un prolongamiento en el tiempo de incubación. Si la temperatura aumenta, existe un mayor riesgo, en especial si la temperatura sobrepasa los 39°C. Por esta razón existe una alarma de sobretemperatura tanto visual como auditiva, que además de informar de esta situación, desconecta el elemento de calefacción.

- El ventilador cuya función es hacer pasar el aire a través del calentador, debe estar siempre funcionando; por esta razón existe una alarma tanto visual como auditiva que detecta cuando la corriente que circula por el ventilador es cero. Además al detectarse esta situación se desconecta automáticamente el calentador.
- El sensor de temperatura LM335 utilizado, tiene características como su bajo precio, linealidad aceptable, baja impedancia dinámica, rango de temperatura adecuado, y facilidad de calibración, por lo que fue escogido. Pero es necesario mencionar también, que este sensor tiene una respuesta un poco lenta a las variaciones de temperatura; lo que no afecta en una aplicación como esta, donde la temperatura varía lentamente.
- La resolución de la temperatura medida es $0,1^{\circ}\text{C}$; ya que entre las temperaturas del rango de medición, es decir, entre $15,0^{\circ}\text{C}$ y $40,5^{\circ}\text{C}$ existen 256 pasos de $0,1^{\circ}\text{C}$; que corresponden exactamente al número de pasos que se puede digitalizar en el conversor A/D de 8 bits utilizado.
- La bandeja donde se colocan los huevos tiene una capacidad de hasta 11 huevos de diferentes tamaños; y el sistema de movimiento de ésta es de un grado de libertad.
- De todo lo obtenido como resultado de las pruebas, se puede concluir que la incubadora construida cumple con los factores necesarios para una correcta incubación, y disminuir de esta manera el índice de mortalidad; esto es: control de temperatura, proporcionar la humedad relativa del aire adecuada, realizar un movimiento de

volteado de los huevos sin brusquedad y de la inclinación recomendada; y proporcionar una aireación continua mediante un sistema de circulación de aire.

5.2 RECOMENDACIONES

- Puede realizarse o proponerse como un tema de tesis la construcción de un sistema de movimiento para más huevos, y aprovechar así, el tamaño que tiene la incubadora.
- Mediante el sistema de humidificación diseñado se ha logrado obtener valores cercanos a los necesarios para una correcta incubación; pero con la desventaja de que los valores de humedad relativa varían con el valor de la temperatura al interior de la incubadora. Podría ser interesante el diseñar un sistema de control de la humedad relativa para este equipo. Las incubadoras industriales de huevos de gallina, para realizar una humidificación exacta, poseen rociadores de agua; este sistema se recomienda en el caso de diseñarse y construirse el sistema de control de humedad relativa para este equipo.
- Una manera de incrementar aún más la humedad relativa al interior de la incubadora, es colocar algún recipiente con agua junto a la bandeja de huevos de aves. Mediante este método se ha logrado conseguir humedades relativas de 55 a 59% a 37°C; lo que mejoraría el sistema en cuanto a humedad se refiere.

- También se puede incrementar la humedad relativa rociando agua sobre la bandeja de huevos una vez al día.
- Colocando agua tibia en el compartimento, en lugar de agua a la temperatura ambiente, se logra disminuir el tiempo de subida y de establecimiento.
- Se recomienda colocar en el compartimento, agua destilada o hervida previamente; esto es con el fin de disminuir el número de bacterias introducidas al interior de la incubadora.
- No es recomendable bajo ninguna circunstancia levantar la cúpula en el período de incubación, ya que la temperatura varía drásticamente. Si se necesita realizar alguna acción al interior de la incubadora es preferible realizarla a través de la ventanilla frontal.
- Al levantar y bajar la cúpula, se recomienda tener mucho cuidado en no aplastar los cables que van al sistema de movimiento y al sensor de temperatura.
- A pesar de poseer el filtro posterior, las bacterias pueden ingresar al interior de la incubadora, debido a que el sellamiento de la misma no es completamente hermético, o también al abrir la ventanilla frontal. Por esta razón se recomienda que el equipo sea utilizado en un ambiente limpio y cerrado.
- El lugar donde se encuentre operando la incubadora debe estar alejado de fuentes de calor como son los rayos solares y ductos de aire acondicionado. Además el sitio

de operación debe permanecer a una temperatura de 15 a 30°C, para un correcto funcionamiento del equipo.

- El termómetro de mercurio ubicado en la parte superior de la cúpula, tiene una respuesta lenta a las variaciones de temperatura. Además su lectura, siempre es un poco menor (alrededor de 1°C) a la lectura obtenida por el sensor de temperatura; por esta razón cuando se usa la lectura de este termómetro como referencia se debe tomar en cuenta lo antes expuesto.

BIBLIOGRAFIA

- AIR SHIELDS. Isolette Infant Incubators Service Manual. 1991. USA.
- ALONSO, Marcelo. ACOSTA, Virgilio. Introducción a la Física. 23va. Edición. Ed. Cultural. Bogotá. 1975
- J.A. BOCQUET. Tratado elemental de Mecánica aplicada. Biblioteca del Mecánico 1. 5a. Edición. Ed. Gustavo Gili. Barcelona-España.
- BOYLESTAD, Robert. Electrónica Teoría de Circuitos. Ed. Prentice Hall.
- CAMPBELL, Bruce. LACK, Elizabeth. A Dictionary of Birds. Gran Bretaña, 1985.
- CHICK MASTER INCUBATOR COMPANY. Pautas operativas para una alta incubabilidad. Ohio-USA
- GARZA, Raymundo. Como mejorar sus nacimientos y la calidad del pollito. Revista Industria Avícola. Enero 1996.
- HERNANDEZ, Eduardo. Calefacción, Aire Acondicionado y Refrigeración. 1ra. Edición. Ed. Limusa. México. 1990.
- LEDESMA, Bolívar, Manual de uso y operación Kit Microlab-51. Quito.

- LEDESMA, Bolívar. Diseño y construcción de un sistema didáctico para control de motores DC. Quito. 1987
- OMEGA, The Electric Heaters Handbook. Vol. 29. 1995.
- SEWALL, Olin. Ornithology in Laboratory and Field. 4a. Edición. USA. 1970.

ANEXO 1

TARJETA MCPD51

La tarjeta MCPD51, Módulo Central de Procesamiento Digital está basada en este caso en el microcontrolador Intel 8751. Esta tarjeta ha sido diseñada especialmente para el desarrollo de proyectos ya que facilita la comprobación del programa desarrollado al poder descargarse en una memoria tipo RAM; el programa puede enviarse desde el pórtico serial de un computador para lo cual también existe el software adecuado como lo es el programa MICROLAB. Luego para disponer ya de un programa residente que será el que quede almacenado definitivamente y no se borre al apagar el equipo el programa se puede grabar en una memoria tipo EPROM.

El paquete MICROLAB constituye una herramienta poderosa que agiliza el desarrollo y depuración de programas de aplicación alrededor de la arquitectura de un microcontrolador de la familia Intel MCS-51, utilizando las facilidades propias de un computador personal y la tarjeta MCPD51 que incluye todo el hardware típico asociado a un microcontrolador. El Microlab ha sido desarrollado para facilitar al diseñador el trabajo de depuración y pruebas, y dispone de los siguientes módulos:

- Editor de textos
- Ensamblador
- Simulador
- Enlace PC - tarjeta MCPD51 para descarga de programas
- Programador para el 8751 o memoria 2732
- Consultas rápidas (set de instrucciones, registros de control, mapa de memoria, entre otros).

La Figura 1 muestra el diagrama de bloques simplificado de la tarjeta MCPD51, la misma que pone a disposición los siguientes recursos:

- * 1 pÓrtico digital bidireccional de 8 bits (P1.7 a P1.0)
- * 2 pÓrticos digitales de salida de 8 bits (OUT0 a OUT15)
- * 1 pÓrtico digital de entrada de 8 bits (SW0 a SW7)
- * 1 pÓrtico digital de entrada de 8 bits con opci3n a colocar un dipswitch-8 en la tarjeta (INP0 a INP7)
- * 1 pÓrtico digital de entrada de 8 bits con opci3n a generar interrupci3n externa (EXT-INT0 a EXT-INT7)
- * 1 entrada anal3gica (0 a 5V) y conversor A/D de 8 bits
- * 1 salida anal3gica (0 a 5V) proveniente de un conversor D/A de 8 bits
- * 1 pÓrtico de comunicaci3n serial RS232 (Conector DB9)
- * 1 Bus de datos del microcontrolador (D7 a D0)
- * 1 Bus de direcciones del microcontrolador (A15 a A0)
- * 1 Bus de seÑales de control del microcontrolador (RD, WR, T0, T1, ALE, PSEN, RESET, INT0, INT1)
- * 1 Bus de seÑales de control para habilitaci3n de dispositivos externos: 3 de entrada: SELIN5, SELIN6 y SELIN7; y 4 de salida: SELOUT3, SELOUT5, SELOUT6 y SELOUT7
- * Memoria RAM de 2 Kbytes
- * Circuito de reset interno con pulsador

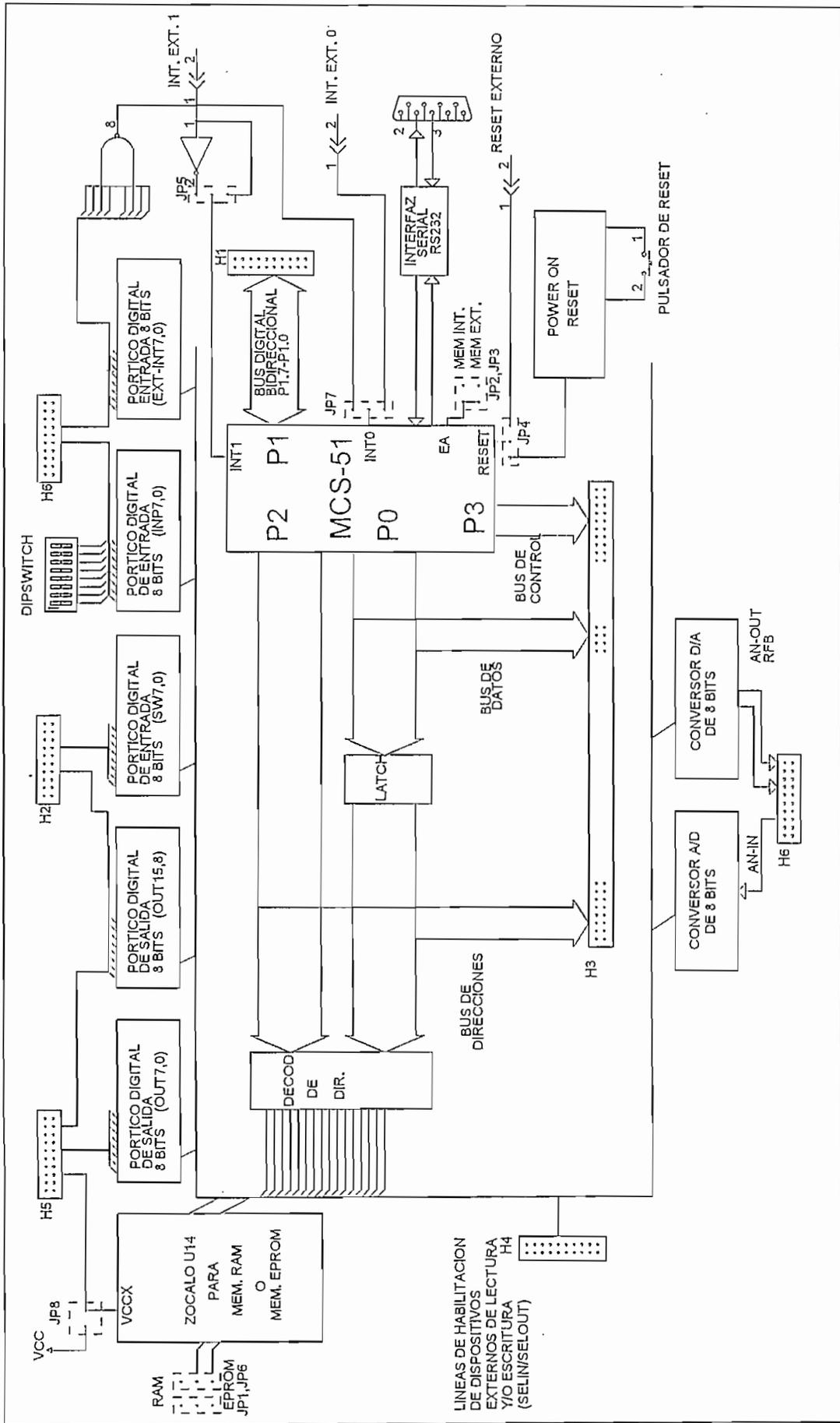


FIGURA 1 DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA TARJETA MCPD51

Los microcontroladores Intel de la familia MCS-51 tienen la posibilidad de direccionar 64K localidades externas a través del bus de direcciones de 16 bits. En la tarjeta MCPD51 se ha incluido toda la circuitería que se requiere para direccionar independientemente a 8 dispositivos de entrada y 8 dispositivos de salida, dividiendo los 64K en páginas de 8K. Las líneas decodificadas para habilitación de dispositivos de entrada (lectura) se denominan SELIN0 a SELIN7. Las líneas para habilitación de dispositivos de salida (escritura) se denominan SELOUT0 a SELOUT7.

Para la decodificación del bus de direcciones y la correspondiente división en páginas de 8K, se han utilizado los tres bits más significativos A15, A14 y A13 los cuales, en combinación con las señales READ y WRITE, determinan la activación de la correspondiente señal de habilitación.

Por ejemplo, si A15, A14 y A13 tienen el valor de 0L, cuando el micro ejecuta una instrucción de escritura en memoria externa (MOVX @DPTR,A), la línea que se habilitará será SELOUT0. Si el micro ejecuta una instrucción de lectura de memoria externa (MOVX A,@DPTR), la línea que se habilitará será SELIN0.

De las 8 líneas de habilitación de entrada y 8 de salida existentes, varias están utilizadas para los pódicos de entrada, salida, conversor A/D y otros recursos disponibles en la tarjeta. La tabla 1 muestra la distribución de memoria y las líneas disponibles.

TABLA 1 Distribución de la memoria

DIRECCIONES	HABILITACION	DISP. DE ENTRADA (LECTURA)	DISP. DE SALIDA (ESCRITURA)
0000H-1FFFH	SELIN0/SELOUT0	Pórt. SW0-SW7	Pórt. OUT0-OUT7
2000H-3FFFH	SELIN1/SELOUT1	Pórt. EXT-INT0 a EXT-INT7	Pórt. OUT8-OUT15
4000H-5FFFH	SELIN2/SELOUT2	Pórt. INP0-INP7	Conv. D/A
6000H-7FFFH	SELIN3/SELOUT3	Conv. A/D	DISPONIBLE
8000H-9FFFH	SELIN4/SELOUT4	MEMORIA RAM	MEMORIA RAM
A000H-BFFFH	SELIN5/SELOUT5	DISPONIBLE	DISPONIBLE
C000H-DFFFH	SELIN6/SELOUT6	DISPONIBLE	DISPONIBLE
E000H-FFFFH	SELIN7/SELOUT7	DISPONIBLE	DISPONIBLE

La tarjeta tiene seis conectores (H1 a H6) a través de los cuales entrega y recibe señales y datos. Prácticamente en todos los conectores se tiene acceso a las fuentes principales de polarización del circuito lógico a través de los pines VCC y VSS.

Existe un conector especial denominado "CON1" que sirve para conectar la tarjeta con la fuente de polarización principal, los puntos de contacto del conector son los que se ilustran a continuación:

VCC = +5 V;

VSS = 0 V;

V+ = +12V;

V- = -12V.

CONECTOR H1:

P1.7..P1.0: Pórtico P1 del microcontrolador (8 bits bidireccional)

EXTINT0: Acceso a la interrupción externa 0 del micro

EXTINT1: Acceso a la interrupción externa 1 del micro

T0: Entrada al timer/counter 0 del micro

T1: Entrada al timer/counter 1 del micro

CONECTOR H2:

SW7..SW0: Pórtico digital de entrada de 8 bits

OUT15..OUT8: Pórtico digital de salida de 8 bits

CONECTOR H3:

El conector H3 permite el acceso directo hacia el microcontrolador: el bus de datos, el bus de direcciones y todas las señales de control: ALE, READ, WRITE, PSEN.

D7..D0: Bus de datos del micro

A15..A0: Bus de direcciones del micro

T0: Entrada al timer/counter 0 del micro

T1: Entrada al timer/counter 1 del micro

EXRST: Entrada de la señal de reset externo

EXINT0: Acceso a la interrupción externa 0 del micro

EXINT1: Acceso a la interrupción externa 1 del micro

CONECTOR H4:

SELIN5,6,7: Señales de habilitación para dispositivos externos de entrada (lectura)

SELOUT3,5,6,7: Señales de habilitación para dispositivos externos de salida (escritura)

RXD: Línea de recepción para comunicación serial del microcontrolador (niveles TTL)

TXD: Línea de transmisión para comunicación serial del microcontrolador (niveles TTL)

RXIN: Línea de recepción serial RS232 (conector DB9) de la tarjeta (niveles de voltaje $\pm 12V$)

TXOUT: Línea de transmisión serial RS232 (conector DB9) de la tarjeta (niveles de voltaje $\pm 12V$)

TOPWM: Señal de salida correspondiente al complemento lógico del pin T0 del micro y en niveles $\pm 12V$

T1PWM: Señal de salida correspondiente al complemento lógico del pin T1 del micro y en niveles $\pm 12V$

CONECTOR H5:

OUT7..OUT0: Pórtico digital de salida de 8 bits

OUT15..OUT8: Pórtico digital de salida de 8 bits

VCCX: Entrada externa para polarización de U14 (memoria RAM o EPROM)

CONECTOR H6:

EXT-INT7..

EXT-INT0: Pórtico digital de entrada de 8 bits con opción a generar interrupción externa 0 en el microcontrolador

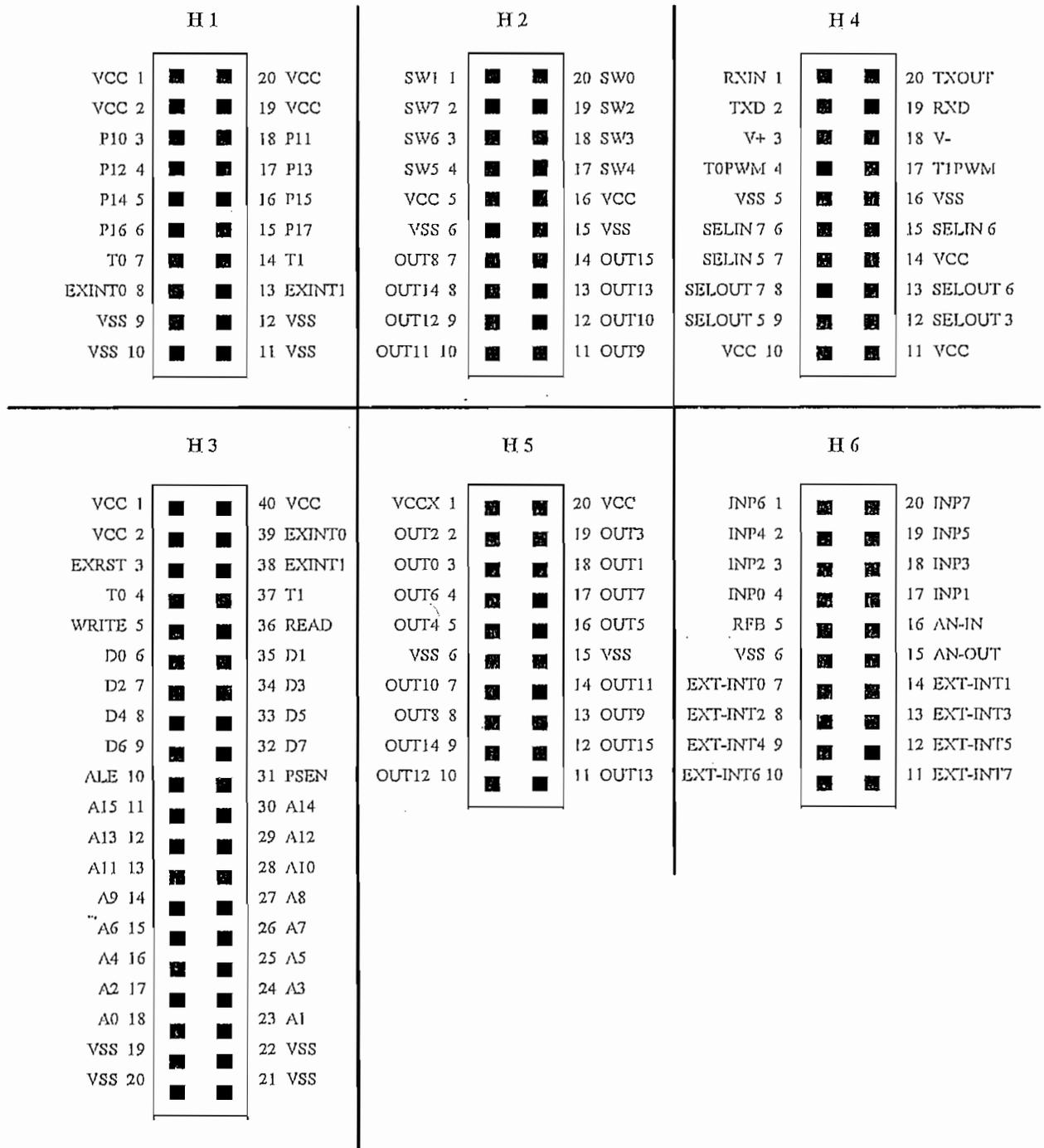
INP7..INP0: Pórtico digital de entrada de 8 bits con opción de colocar un dipswitch 8 en la tarjeta

AN-OUT: Salida analógica (0 a +5V) proveniente del conversor D/A (DAC0830)

RFB: Salida analógica (0 a -5V) correspondiente a la señal invertida del conversor D/A

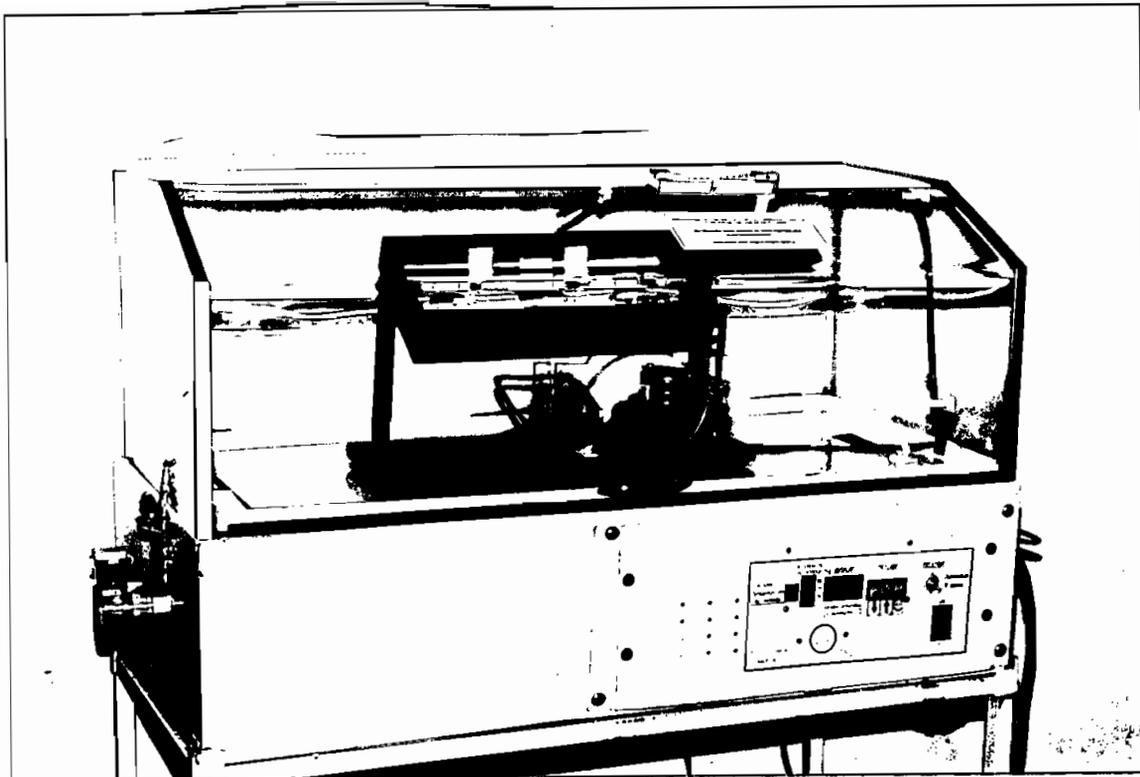
AN-IN: Entrada analógica (0 a +5V) hacia el
 conversor A/D (ADC0804).

ESQUEMA DE CONECTORES

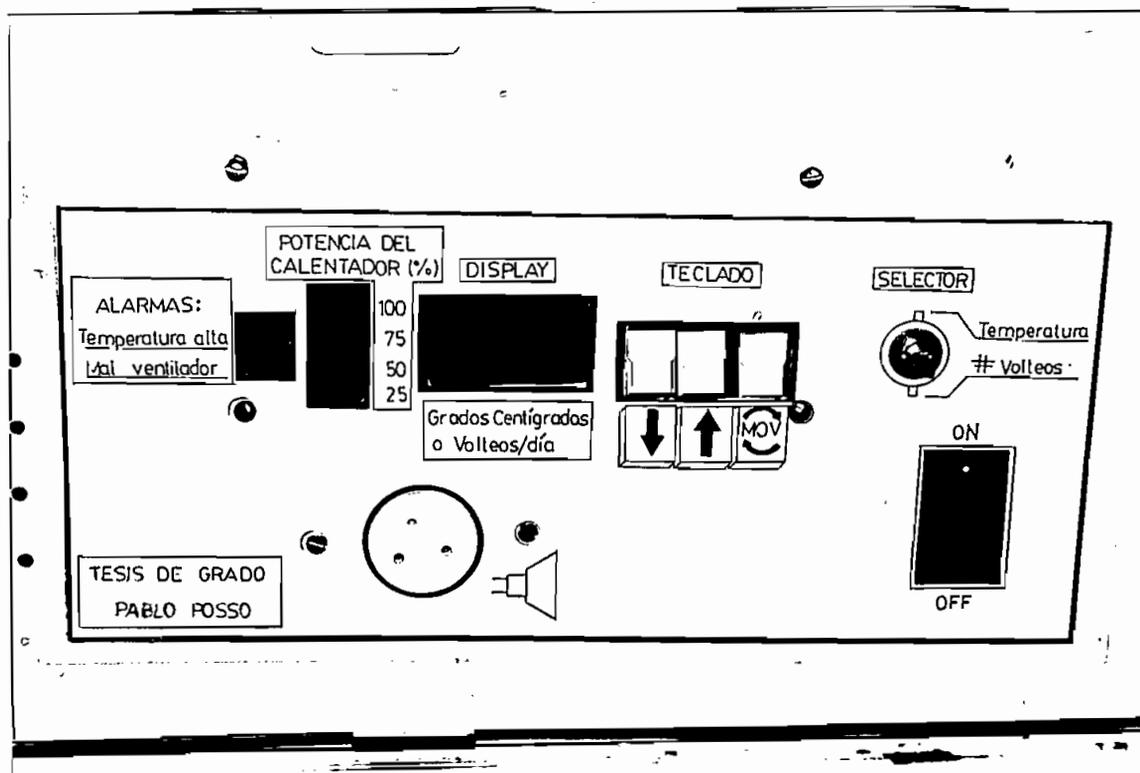


ANEXO 2

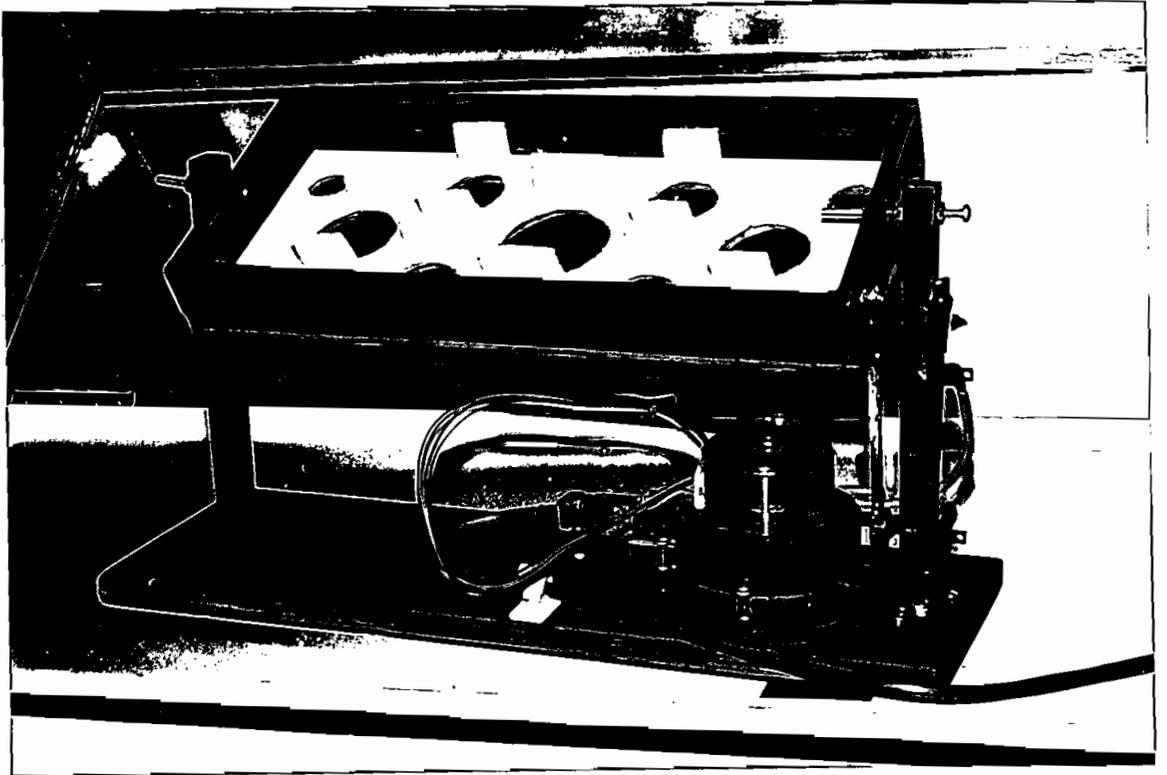
FOTOGRAFÍAS DEL EQUIPO



FOTOGRAFIA # 1: VISTA FRONTAL DEL EQUIPO



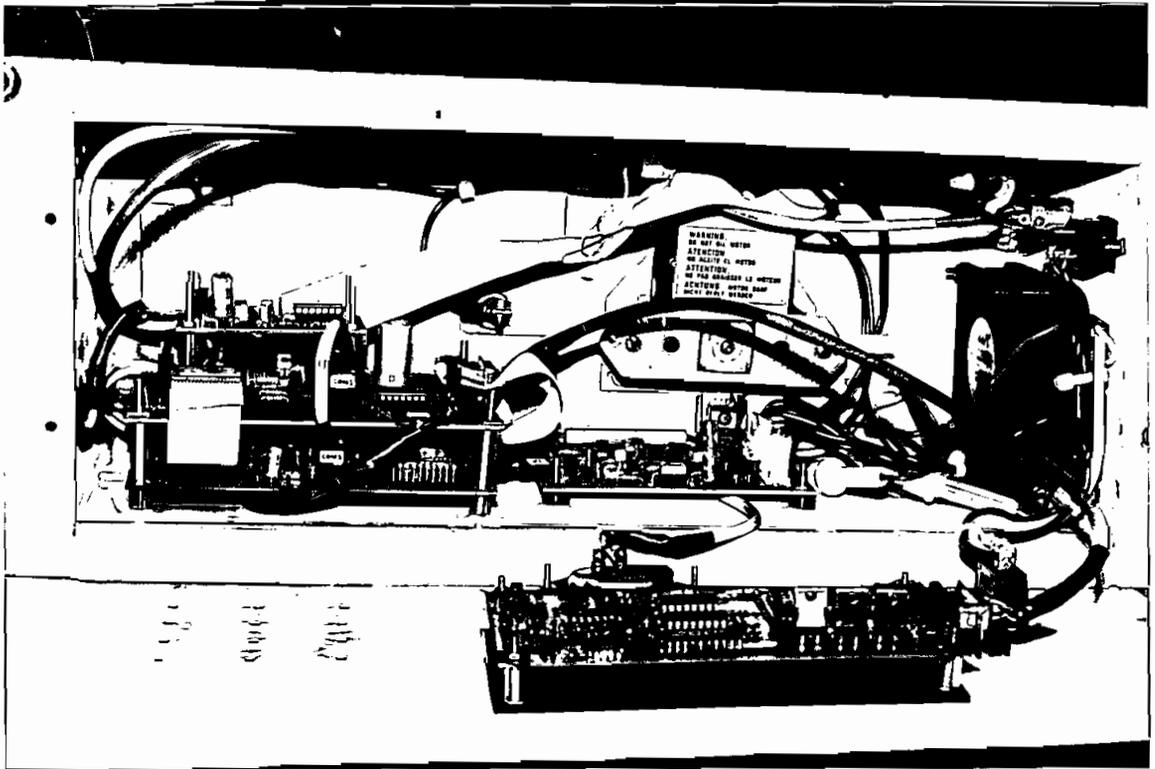
FOTOGRAFIA # 2: PANEL DE CONTROL



FOTOGRAFIA # 3: SISTEMA DE MOVIMIENTO



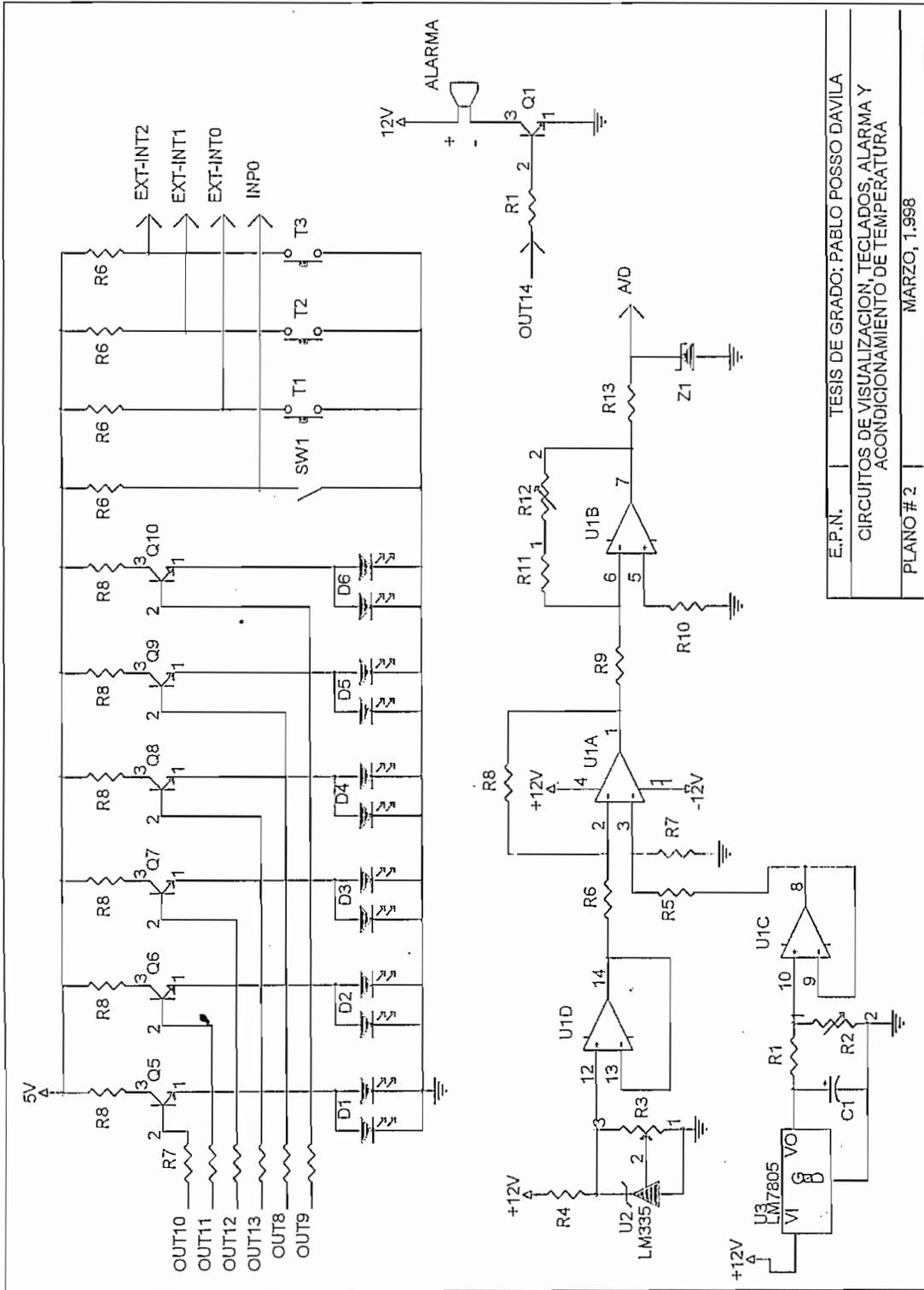
FOTOGRAFIA # 4: VISTA POSTERIOR DEL PANEL DESMONTABLE



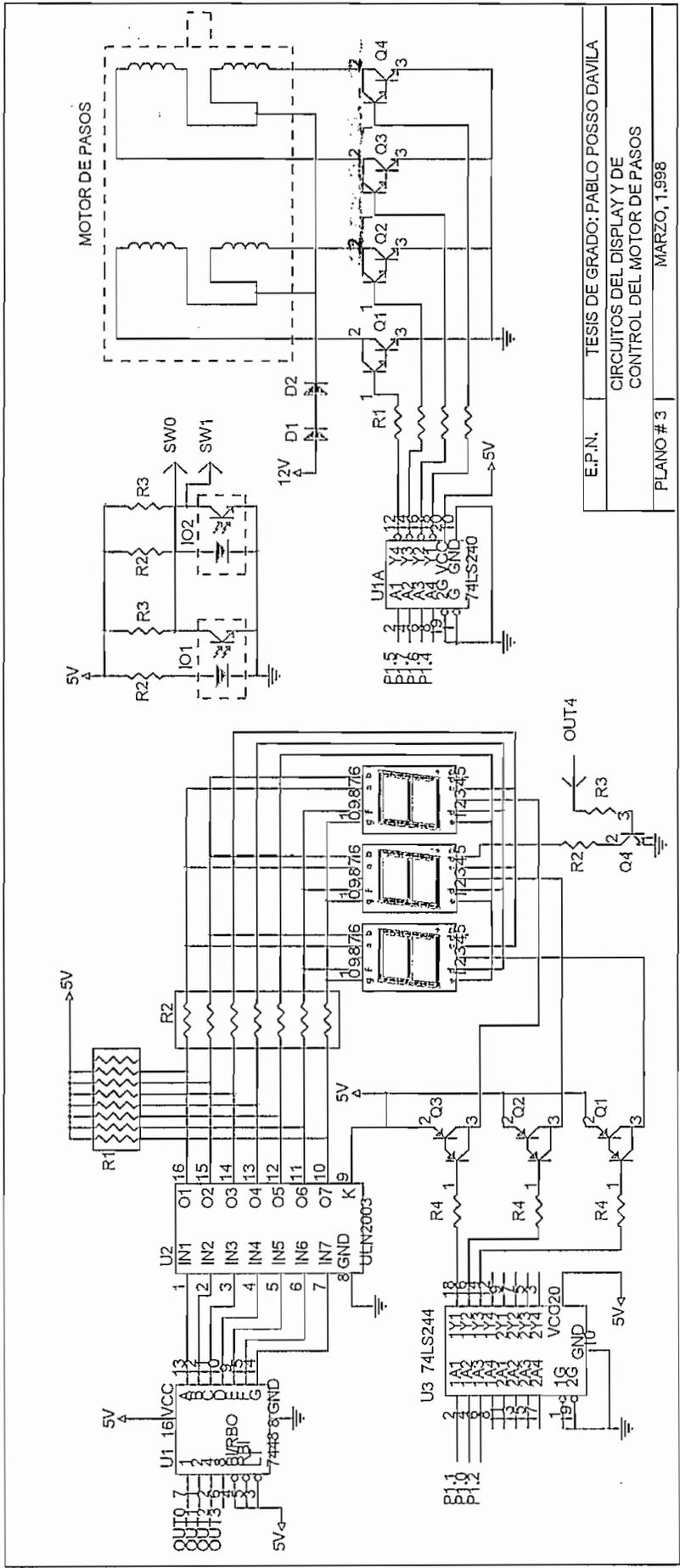
FOTOGRAFIA # 5: TARJETAS ELECTRONICAS AL INTERIOR DEL
PANEL DESMONTABLE

ANEXO 3

PLANOS DEL EQUIPO

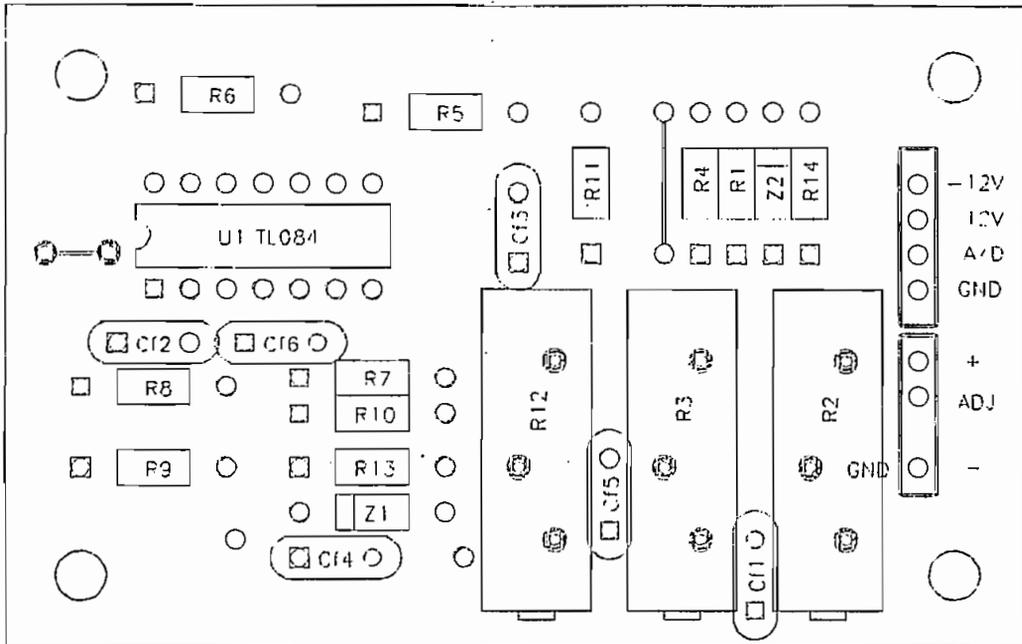


E.P.N. | TESIS DE GRADO: PABLO POSSO DAVILA
 CIRCUITOS DE VISUALIZACION, TECLADOS, ALARMA Y
 ACONDICIONAMIENTO DE TEMPERATURA
 PLANO # 2 | MARZO, 1.998

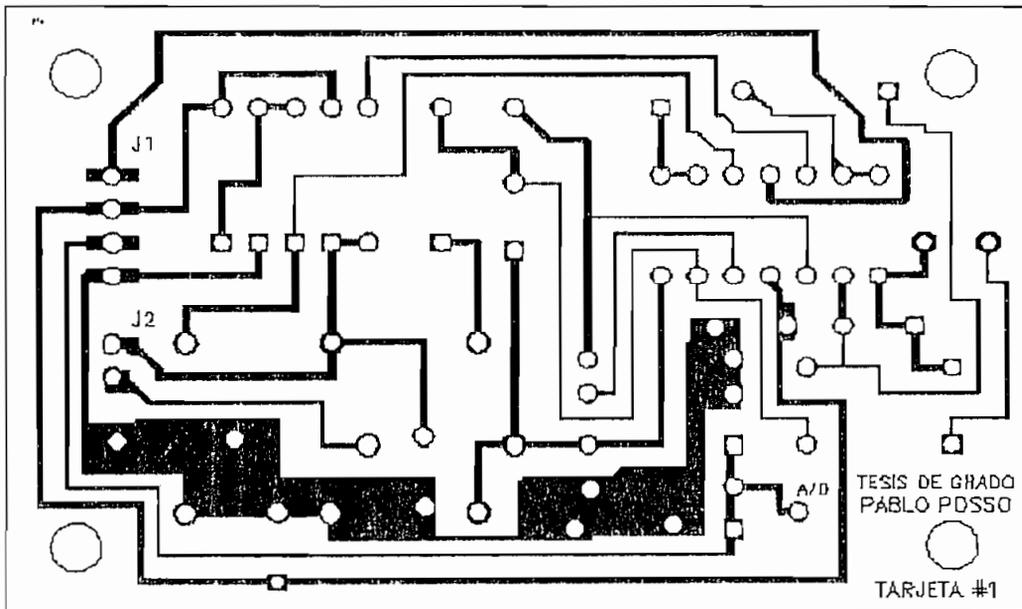


TARJETA # 1:

LADO DE COMPONENTES:

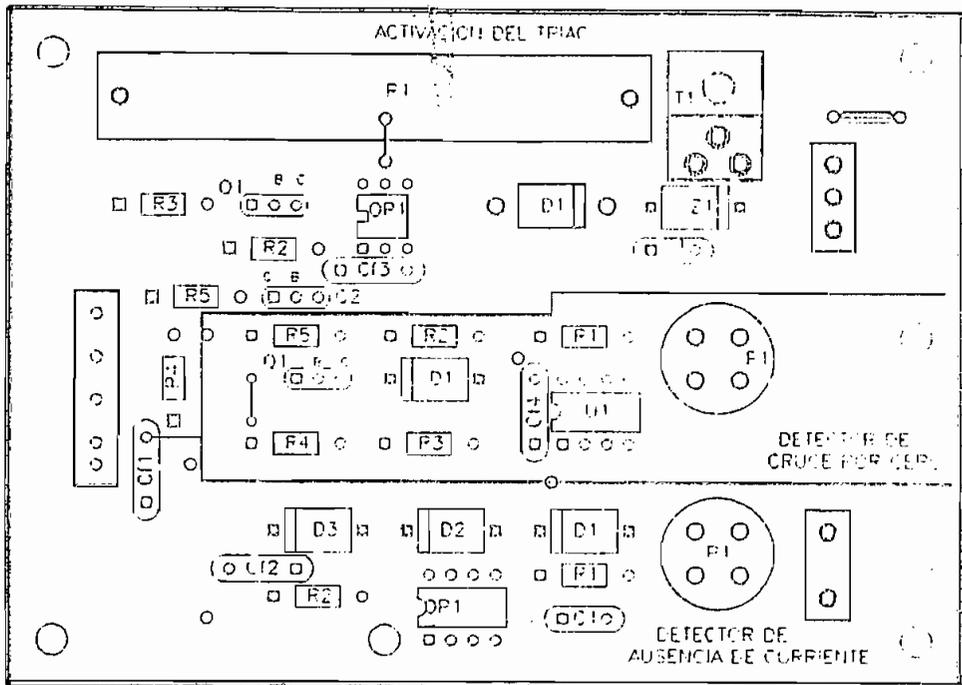


LADO DE SOLDADURA:

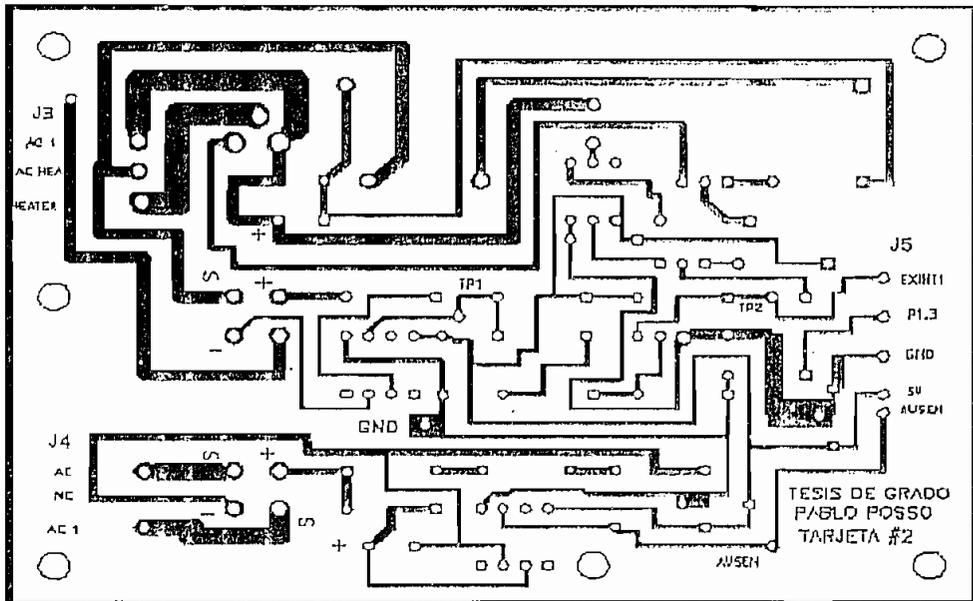


TARJETA # 2:

LADO DE COMPONENTES:

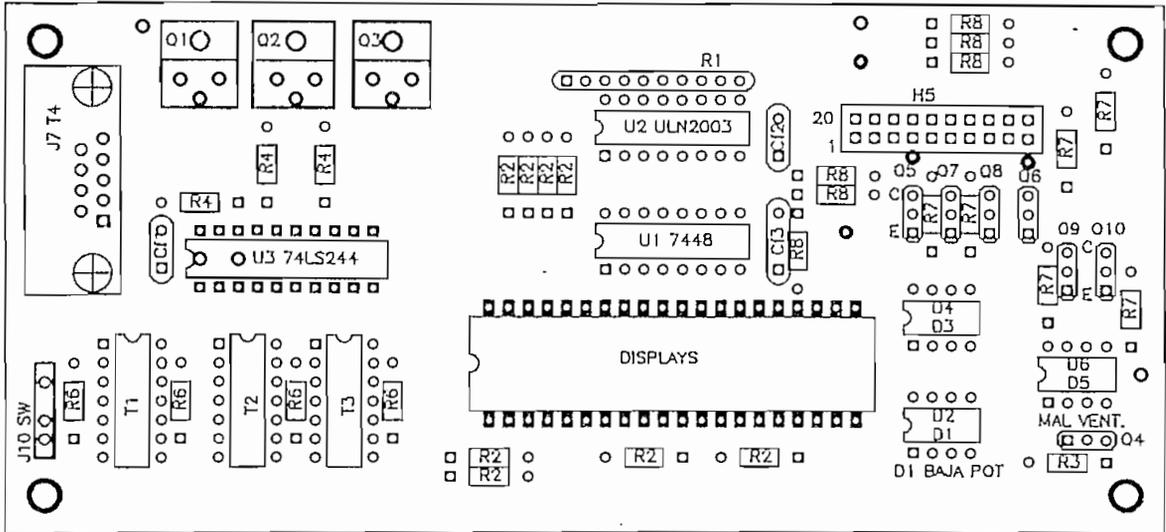


LADO DE SOLDADURA:

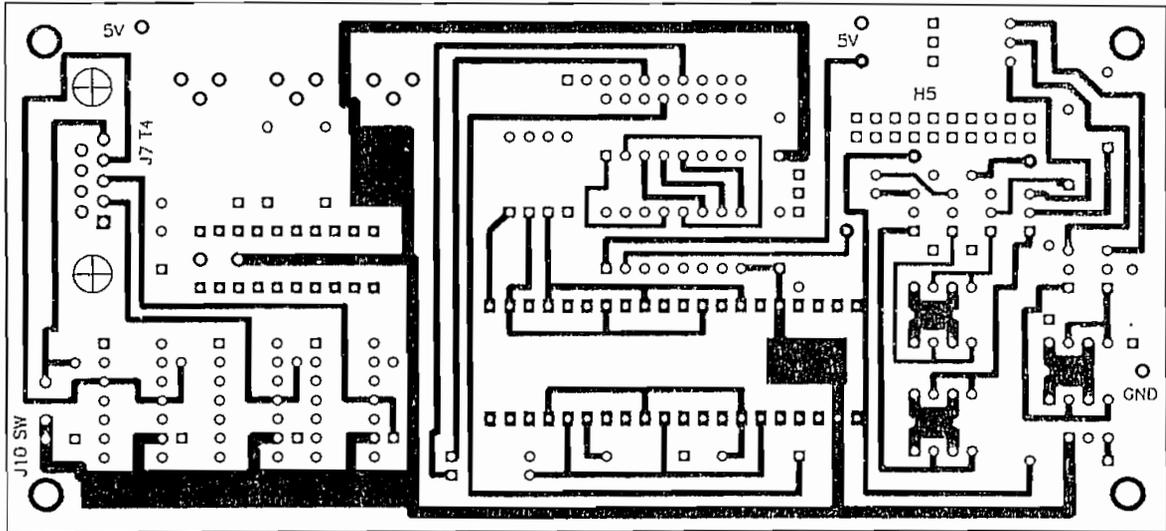


TARJETA # 3:

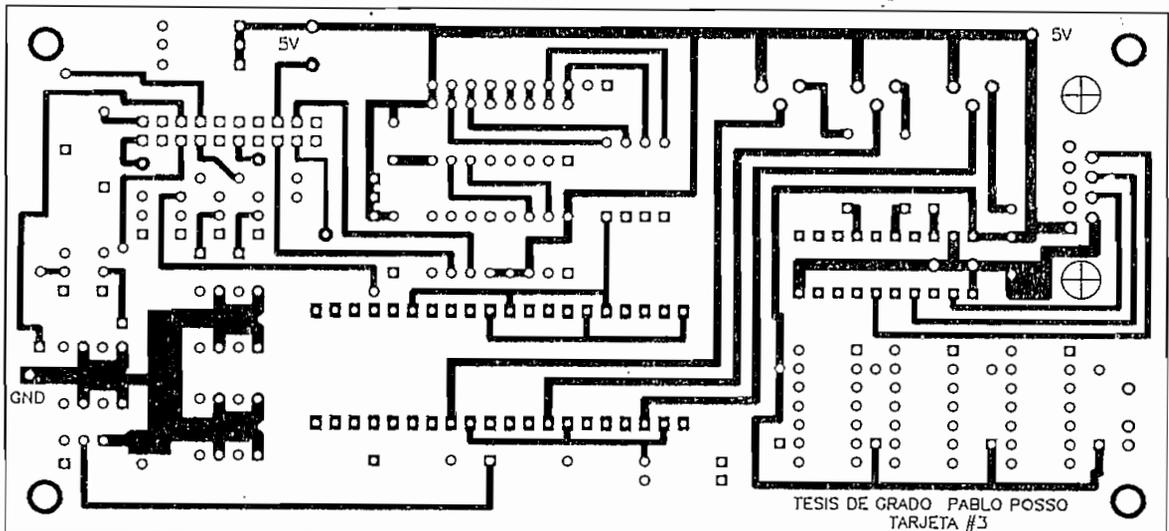
LADO DE COMPONENTES (ELEMENTOS):



LADO DE COMPONENTES (PISTAS):

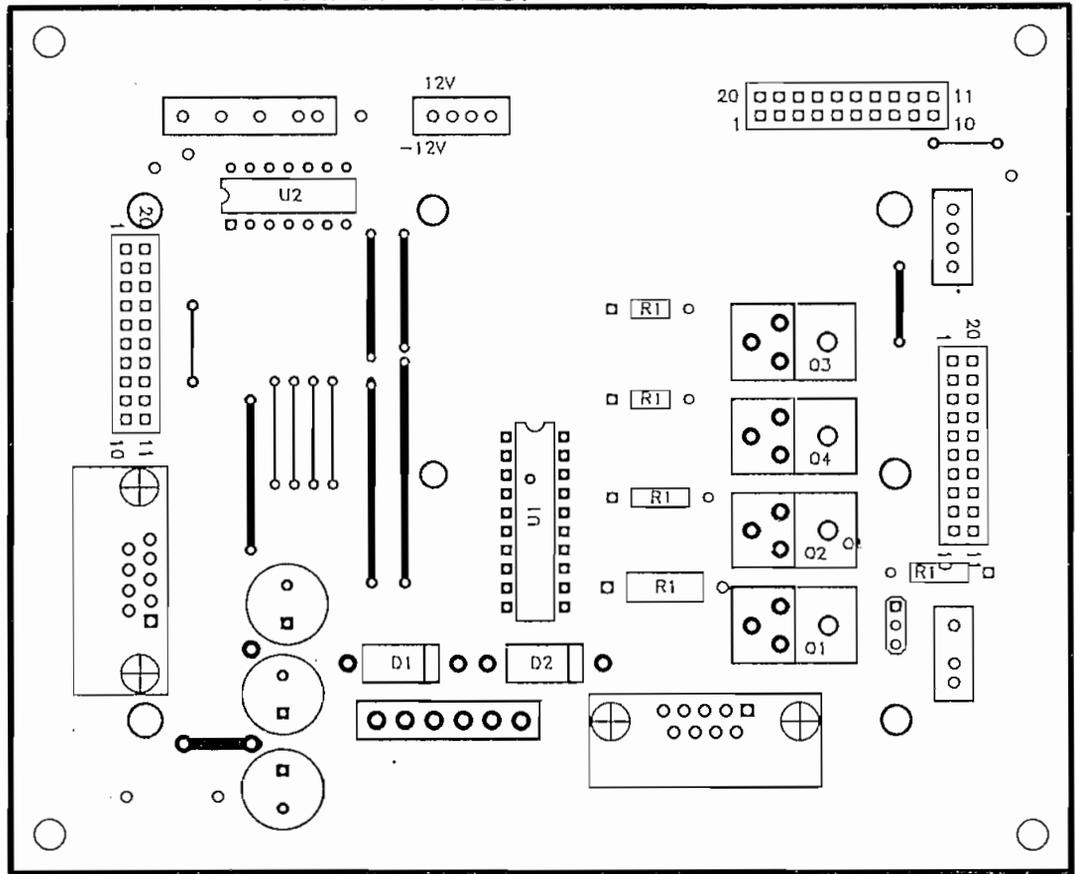


LADO DE SOLDADURA:

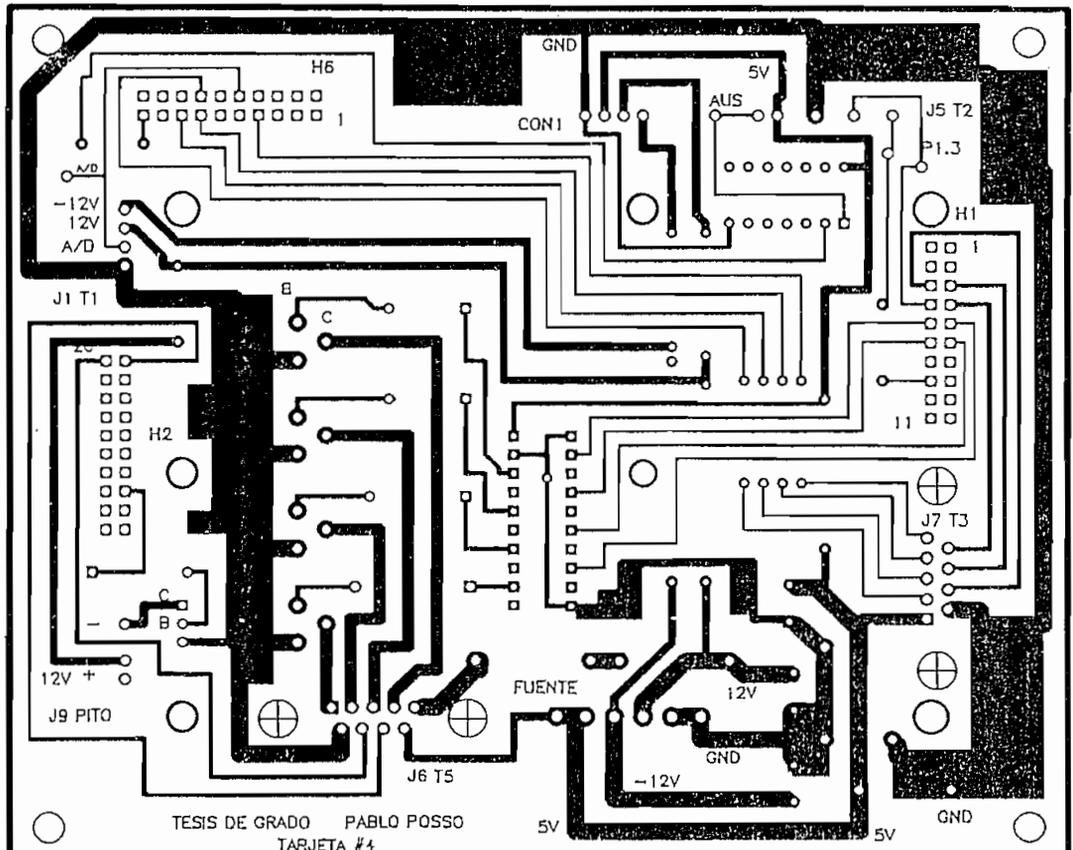


TARJETA # 4:

LADO DE COMPONENTES:

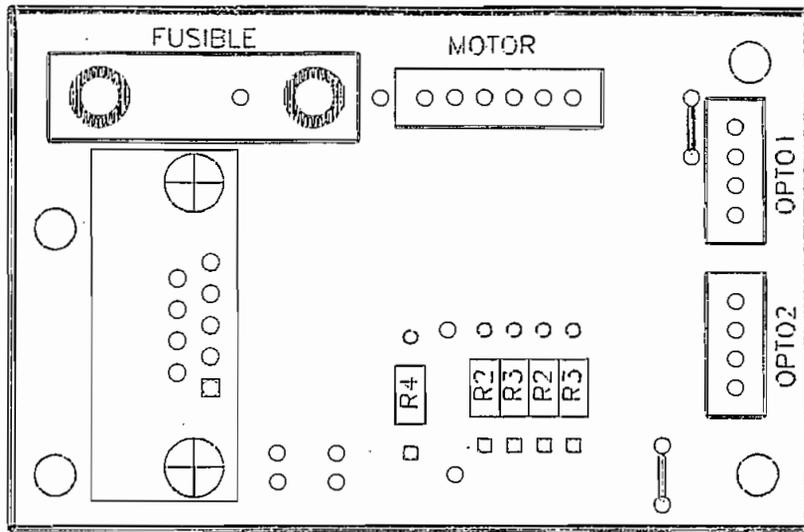


LADO DE SOLDADURA:

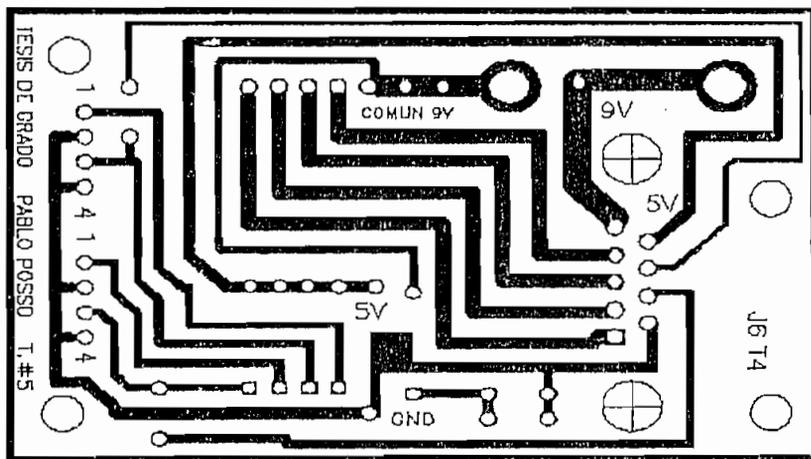


TARJETA # 5:

LADO DE COMPONENTES:



LADO DE SOLDADURA:



ANEXO 4

DATOS TÉCNICOS

AN INTRODUCTION TO TUBULAR HEATERS

OMEGALUX® features round tubular heaters with incoloy sheath, available in various diameters. Triangular and flat pressed tubular heater designs are available upon request. Contact OMEGALUX at 1-800-USA-HEAT for details.

Other diameters available are .440, .496, .625 round, also .533 and .660 round in single end terminal construction only.

sheath materials are: Incoloy, steel, type 304 and 316 stainless steel, copper, Inconel and monel.

In addition, titanium and most 300 series stainless steel sheaths are available upon request. For applications requiring other materials, contact the OMEGALUX custom engineering dept.

Terminal construction to suit the application. Tubular elements

such codes as the National Electric Codes, American Society of Mechanical Engineers codes, Canadian Standards Administration, Mine Safety and Health Administration, (MSHA — formerly Bureau of Mines) and Underwriters Laboratories, Inc.

U.L. Component Recognition. All OMEGALUX tubular heaters can be furnished as U.L. and C.S.A. recognized components with the addition of a terminal end seal.

Nickel chromium resistance wire. 80% nickel 20% chromium alloy resistance wire is the heart of the tubular element. This wire must meet strict OMEGALUX standards.

MgO insulation. Magnesium oxide insulation is carefully selected and engineered to give best transfer of heat from resistor wire to operate at lowest possible temperature.

Tubing. Standard industrial grade wall thickness.

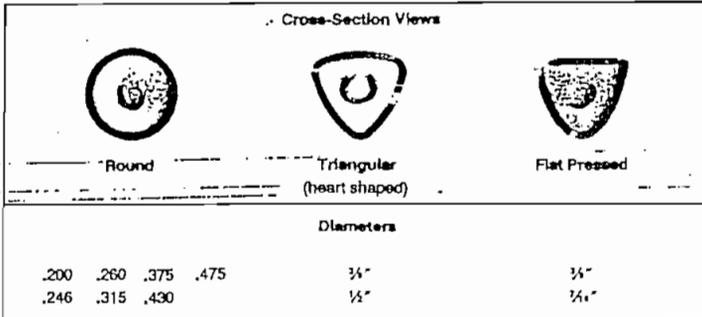
Dia. (In.)	Thickness (In.)
.200, .246, .260	.018 to .020
.315, .375	.028 to .030
.430, .475, .500	.035

Other wall thickness available. Contact OMEGALUX.

Easy bending. To put heat where it is needed, tubular elements can be bent to fit most requirements. See following pages for customer bending and factory bending details. Bending should be done around a smooth round object such as a piece of pipe. For minimum bending radii see Bending Section.

Repressed bends. Tubulars can be bent to tighter radii at the factory. Bends are then repressed to insure restoration of insulation for long life. Customer bending on larger radii does not require repressing.

Long life. OMEGALUX tubular heaters are designed for long life and will outlast other tubulars in a given application. Proper application assures long life. See Selection Guide.



Design features provide efficient performance and versatility.

Round cross-section — Highly adaptable where elements must be bent — particularly if bending is performed in the field.

Triangular cross section elements (patented process) produce elements with closest possible dimensional control.

Triangulated cross section, flat pressed (patented process), provides large contact area for clamp-on applications. This means more efficient heat transfer, fewer elements since higher element ratings may be employed.

Unspliced lengths up to 51 feet long depending on diameter. OMEGALUX has the capacity of supplying tubular elements in lengths up to 51 feet. This eliminates the need for a spliced joint which is always a possible weak point that might cause premature heater failure.

A wide choice of sheath materials. Available to meet the unlimited variety of applications. Standard

generally have a terminal for electrical connection at each end. Single end construction has both terminals at the same end. Other types of terminal construction available.

Variety of mounting methods.

Elements can be supplied with threaded fittings for mounting thru walls of tanks, ovens, etc. Compression threaded fittings are also available for easy field installation. Rings, clips, brackets and washers can also be attached to elements for mounting purposes.

Large stock of tubular heaters

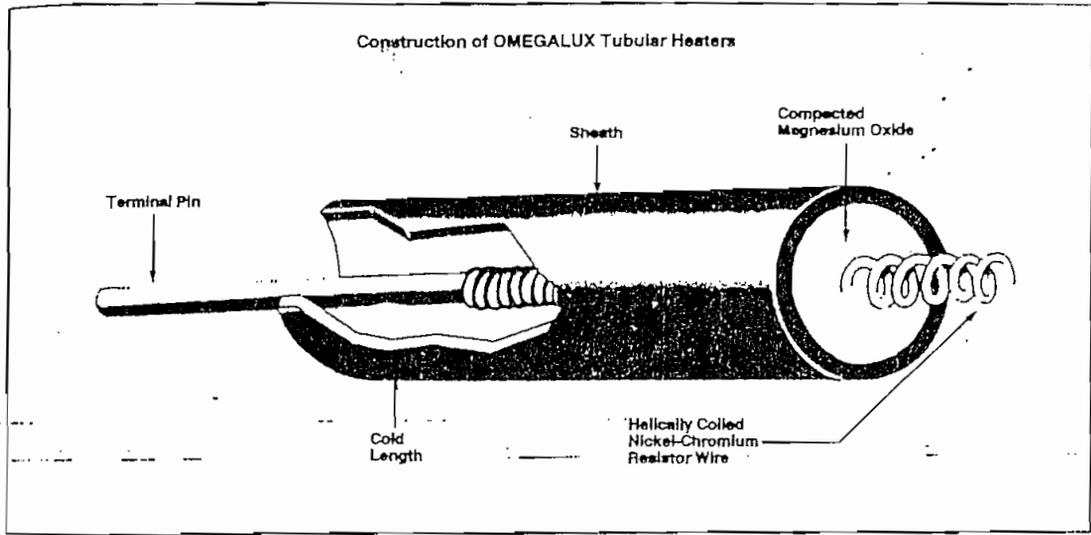
OMEGALUX has the tubular heaters for virtually any application call us for details.

Additional features. Many additional features are available for the difficult jobs which require custom designed elements.

Compliance with codes.

OMEGALUX offers the highest quality heaters and controls and where applicable in compliance with

Construction of OMEGALUX Tubular Heaters



OMEGALUX® tubular elements are used for practically the entire range of electric resistance heating applications. A cut-a-way view showing the components of the elements is pictured above.

A metal sheath material is selected. The proper size resistor wire for the heating element is carefully selected and verified by computer calculations to insure the longest service life possible. The nickel-chromium resistor wire is carefully tested and inspected to meet rigid specifications prior to being coiled. The resistor wire is then welded to a terminal pin to assure positive connection. It is centered in a metal sheath and insulated with high quality magnesium oxide which is highly compacted around it and acts as an electrical insulator. This material rapidly conducts the heat from the coiled resistor to the metal sheath and puts the heat where it is required and results in maximum heater life.

The highly compacted magnesium oxide holds the terminal pin securely allowing maximum torque of 8 inch lbs. when tightening terminal hardware.

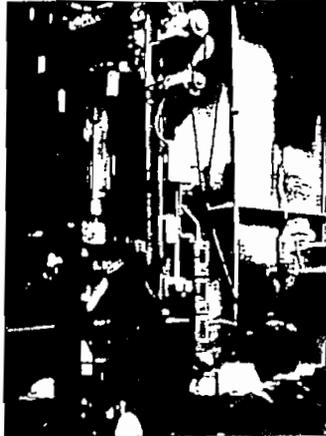
Application guide for tubular heating of solids, liquids, air/gases

Product to be heated	Temperature Desired for Product	Suggested Application	Sheath Material	Product Temperature	Allowable Watt Density (W/in ²)
Solids					
Molds, platens, dies, pipes, tanks	Up to 1400°F	Clamp-on	Incoloy	Up to 300°F Up to 500°F Up to 800°F Up to 1000°F Up to 1200°F Up to 1400°F	30 20 15 10 7 2.5
Liquids					
Water-clean	Up to 250°F Up to 550°F	Immersion Immersion	Copper Incoloy	250°F 550°F	Up to 80 40
Water solutions mild corrosion corrosive*	Up to 200°F Up to 200°F	Immersion Immersion	304 SS Incoloy	200°F 200°F	50 50
Oil					
low viscosity med. viscosity high viscosity	Up to 180°F	Immersion	Steel	Up to 180°F	23 15 6.5
Air/Gases					
Moving-8"/sec velocity	Up to 1500°F	In duct	Incoloy	500°F 800°F 1000°F 1200°F 1500°F	40 32 25 15 2
Still	Up to 1500°F	Ovens	Incoloy	700°F 1000°F 1200°F 1500°F	30 20 10 2

**See Corrosion Guide Section A.

AN INTRODUCTION TO TUBULAR HEATERS

(continued)

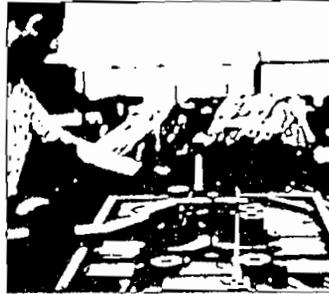


High quality magnesium oxide is compacted around the resistor wire inside a metal sheath.

Materials. Only the finest are used. Resistor alloy. Top quality 80% nickel/20% chromium resistor alloy — the workhorse of the electric heating industry for the tough jobs. Other alloys are used when necessary to produce required ratings.

Sheath materials. Finest available alloys to withstand operating temperatures, resist corrosion and provide physical strength for heater reliability.

Insulation. Magnesium oxide whose electrical and thermal characteristics are constantly controlled to insure long life and higher heater insulation values.

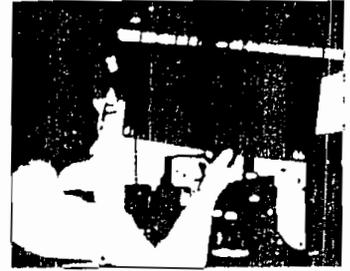


Special tools are used for precise bending to design requirements.

Testing. Tubular elements are 100 percent inspected as follows:

1. Hi-pot test of twice the rated voltage plus 1000V; i.e., a 480V element would be tested at 2 x 480 + 1000 or 1960V.
2. Insulation resistance is checked for a minimum value of 20 megohm cold resistance.
3. Each element is checked to verify rated wattage is within tolerances of $\pm 5\%$ for 100V elements or higher.

For elements under 100 volts, tolerance is $\pm 10\%$.



X-rays are used to inspect finished tubular heater elements.

Bending. Precise bending of elements when required is accomplished by skilled craftsmen using specially designed bending tools.

Factory produced bends having tight radii are repressed in dies under tons of pressure to insure the integrity of the highly compacted magnesium oxide insulation for longer heater life.

MADE IN
USA

ADDITIONAL FEATURES

Special wattage distribution.

Heaters can be made with higher wattages toward the end of the heated section to help offset losses in certain applications.

Sheath length. Heaters can be made in unspliced lengths up to 51 feet.

Element diameter (ins.)	Max. heater length (ft.) $\pm 1\%$
.200	20
.246	40
.315	40
.475	51
3/4"	17
1"	17

*Sheath of heater can be trimmed to hold closer tolerance on overall length.

Note: Signal-end elements have a maximum sheath length of 10 ft.

Cold Section. Longer cold ends can be supplied as required up to 20

inches. For longer cold ends contact OMEGALUX*.

Terminals. Many types of terminals are available to suit different applications.

Sheath Materials. Heaters can be made using almost any type of metal sheath. Standard materials are: steel, copper, Incoloy metal, Inconel metal, 304 and 316 stainless steel and monel. Others available are: 321 and 347 stainless steel and titanium.

An extremely versatile heat source. Highly adaptable, the tubular element, in its many forms has vastly increased the scale of electric heating applications. Its mechanical and electrical flexibility is important to the process engineer and product designer alike, as heating requirements can be matched accurately by proper selection from a great variety of element lengths, sheaths, diameters and watt densities. Proper application can assure these benefits:

□ **Less down time** — OMEGALUX® quality tubular elements properly applied with watt density and sheath material matched to the job will provide long life and less down time and little or no maintenance.

□ **Product uniformity** — Electric tubular heating elements provide a method of applying the exact amount of heat required at a specific area. Together with temperature control, product repeatability is assured.

□ **Increased production** — Adding heat to a process often leads to increased production. For example, drying time may be reduced by heating the air or the product being dried. Chemical and cleaning processes are often more efficient when heated and a more consistent finished product results with less rejects.

Design considerations

The most important factors in selecting tubular elements are:

Sheath material. For resisting any corrosion inherent in the process or environment and for withstanding the sheath temperature required.

Omegalux features Incoloy as its standard sheath material due to its superior temperature ratings. Other sheath materials such as copper, steel, stainless steel, and others are available — contact our Sales dept. for details.

To assure maximum life, tubular elements should not be operated beyond the temperatures in this tabulation:

Sheath Material	Max. allowable sheath temp. °F
Copper	350
Steel	750
Stainless Steel	1200
Incoloy	1600

Job requirements. The calculation of total heat requirements for an application is outlined in Section A. For assistance call our Applications Engineering dept. at 1-800-USA-HEAT.

Once total heat requirements are established, the quantity, size and ratings can be decided. Plan for enough heaters to permit even temperature as required by the process. The sensor for the temperature control should be clamped to the working surface for accurate control. In the case of air heating, place sensor where the desired temperature is needed, but not too far from heater to help avoid undershoot and overshoot.

After the specific heater size and rating has been tentatively selected, the watt density must be checked against the curves in Section A.

If the heater selected has a watt density higher than stipulated by the curve, then these alternatives could be considered:

1. Use more heaters of a lower watt density to obtain the required kW capacity.
2. Reduce the kW capacity needed by reducing heat losses and allowing for a longer heat-up time.

Watt densities. The watt density of the element, or watts per square inch of heated area, should be low for heating asphalt, molasses and other thick substances with low heat transferability. It can be higher for heating air, metals, liquids, and other heat-conducting materials.

When high operating temperatures are needed, watt density must be limited in order not to exceed the maximum sheath temperature. Watt density is given in the specifications for each tubular heater.

In general, a viscous material with low thermal conductivity requires a low watt density. Higher watt densities can be used with thinner liquids and with materials of high thermal conductivity. Premature loss of the element due to excessive temperature may result if the material's heat-take-away ability is low. Also, the material may be charred, carbonized or its chemical makeup altered by overheating.

Maximum work temperatures. Tubular elements can be used in the following general applications at maximum temperatures shown without exceeding their capability, if properly installed according to instructions packed with heaters.

Maximum work temperatures °F

	Sheath material (W/in ²)			
	Copper (80)	Incoloy (30)	Stainless Steel (45)	Steel (20)
Ambient				
Still air	—	300	—	—
Free air	—	900	—	—
Moving air	—	1050	—	200
Liquids				
Water	250	Any temp. & press.	—	—
Oil	—	180	180	180
Heat transfer	—	500	500	500
Mild corrosive solution	—	180	180	—
Clamp-on	—	300	—	100

These maximum temperatures are based on watts per sq. in. shown. If elements have a lower watt density, the work temperature may be increased.

CAUTION AND WARNING!

Fire and electrical shock may result if products are used improperly or installed or used by non-qualified personnel. See inside back cover for additional warnings.

LM135/LM235/LM335, LM135A/LM235A/LM335A
Precision Temperature Sensors

General Description

The LM135 series are precision, easily-calibrated, integrated circuit temperature sensors. Operating as a 2-terminal zener, the LM135 has a breakdown voltage directly proportional to absolute temperature at +10 mV/°K. With less than 1Ω dynamic impedance the device operates over a current range of 400 μA to 5 mA with virtually no change in performance. When calibrated at 25°C the LM135 has typically less than 1°C error over a 100°C temperature range. Unlike other sensors the LM135 has a linear output.

Applications for the LM135 include almost any type of temperature sensing over a -55°C to +150°C temperature range. The low impedance and linear output make interfacing to readout or control circuitry especially easy.

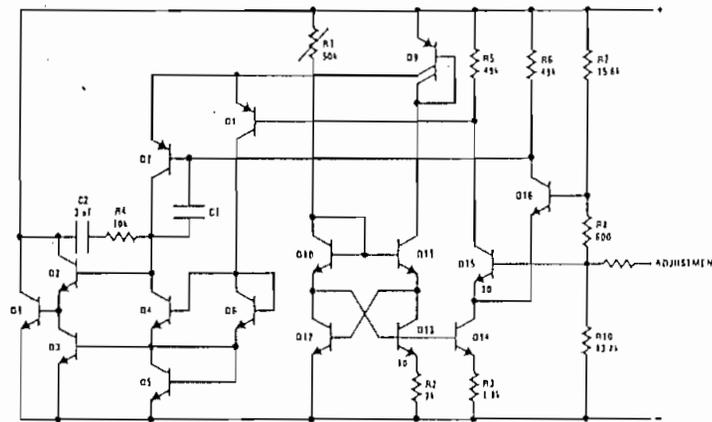
The LM135 operates over a -55°C to +150°C temperature range while the LM235 operates over a -40°C

to +125°C temperature range. The LM335 operates from -40°C to +100°C. The LM135/LM235/LM335 are available packaged in hermetic TO-46 transistor packages while the LM335 is also available in plastic TO-92 packages.

Features

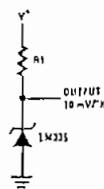
- Directly calibrated in °Kelvin
- 1°C initial accuracy available
- Operates from 400 μA to 5 mA
- Less than 1Ω dynamic impedance
- Easily calibrated
- Wide operating temperature range
- 200°C overrange
- Low cost

Schematic Diagram

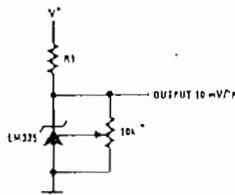


Typical Applications

Basic Temperature Sensor

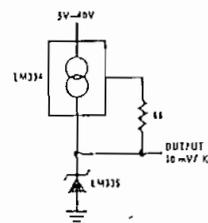


Calibrated Sensor



* Calibrate for 2.982V at 25°C

Wide Operating Supply



LM135/LM235/LM335, LM135A/LM235A/LM335A



LM135/LM235/LM335, LM135A/LM235A/LM335A

Absolute Maximum Ratings

Reverse Current	15 mA
Forward Current	10 mA
Storage Temperature	
TO-46 Package	-60°C to +180°C
TO-92 Package	-60°C to +150°C
Specified Operating Temperature Range	
Continuous	Intermittent (Note 2)
LM135, LM135A	-55°C to +150°C 150°C to 200°C
LM235, LM235A	-40°C to +125°C 125°C to 150°C
LM335, LM335A	-40°C to +100°C 100°C to 125°C
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	300°C

Temperature Accuracy LM135/LM235, LM135A/LM235A (Note 1)

PARAMETER	CONDITIONS	LM135A/LM235A			LM135/LM235			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Operating Output Voltage	$T_C = 25^\circ\text{C}, I_R = 1\text{ mA}$	2.97	2.98	2.99	2.95	2.98	3.01	V
Uncalibrated Temperature Error	$T_C = 25^\circ\text{C}, I_R = 1\text{ mA}$		0.5	1		1	3	°C
Uncalibrated Temperature Error	$T_{\text{MIN}} < T_C < T_{\text{MAX}}, I_R = 1\text{ mA}$		1.1	2.7		2	5	°C
Temperature Error with 25°C Calibration	$T_{\text{MIN}} < T_C < T_{\text{MAX}}, I_R = 1\text{ mA}$		0.3	1		0.5	1.5	°C
Calibrated Error at Extended Temperatures	$T_C = T_{\text{MAX}}$ (Intermittent)		2			2		°C
Non-Linearity	$I_R = 1\text{ mA}$		0.3	0.5		0.3	1	°C

Temperature Accuracy LM335, LM335A (Note 1)

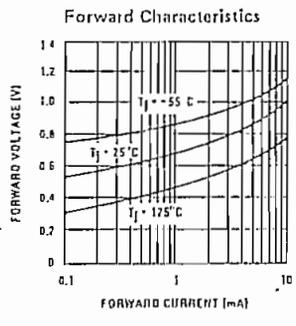
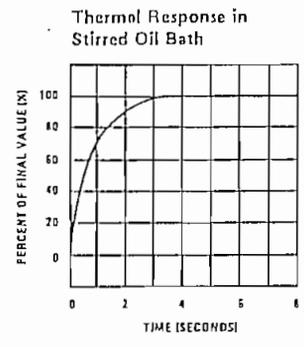
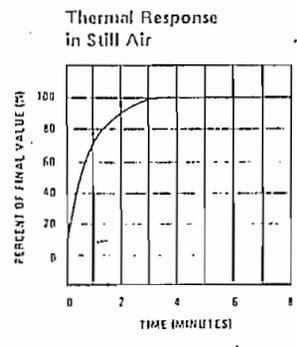
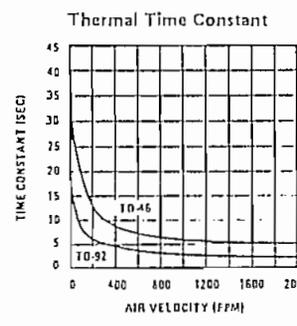
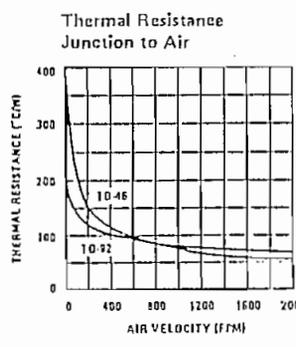
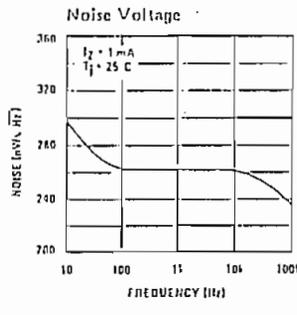
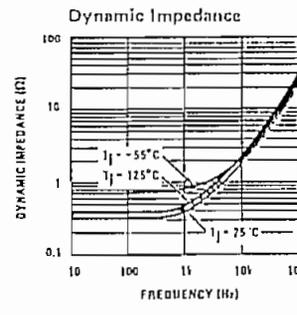
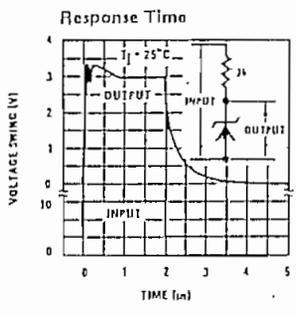
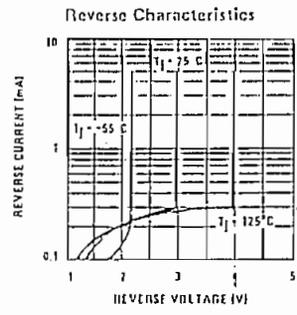
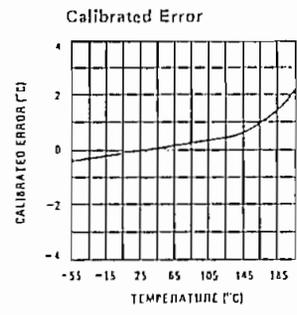
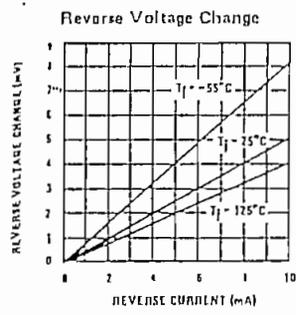
PARAMETER	CONDITIONS	LM335A			LM335			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Operating Output Voltage	$T_C = 25^\circ\text{C}, I_R = 1\text{ mA}$	2.95	2.98	3.01	2.92	2.98	3.04	V
Uncalibrated Temperature Error	$T_C = 25^\circ\text{C}, I_R = 1\text{ mA}$		1	3		2	6	°C
Uncalibrated Temperature Error	$T_{\text{MIN}} < T_C < T_{\text{MAX}}, I_R = 1\text{ mA}$		2	5		4	9	°C
Temperature Error with 25°C Calibration	$T_{\text{MIN}} < T_C < T_{\text{MAX}}, I_R = 1\text{ mA}$		0.5	1		1	2	°C
Calibrated Error at Extended Temperatures	$T_C = T_{\text{MAX}}$ (Intermittent)		2			2		°C
Non-Linearity	$I_R = 1\text{ mA}$		0.3	1.5		0.3	1.5	°C

Electrical Characteristics (Note 1)

PARAMETER	CONDITIONS	LM135/LM235 LM135A/LM235A			LM335 LM335A			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Operating Output Voltage Change with Current	$400\ \mu\text{A} < I_R < 5\text{ mA}$ At Constant Temperature		2.5	10		3	14	mV
Dynamic Impedance	$I_R = 1\text{ mA}$		0.5			0.6		Ω
Output Voltage Temperature Drift			+10			+10		mV/°C
Time Constant	Still Air		80			80		sec
	100 l/Min Air		10			10		sec
	Stirred Oil		1			1		sec
Time Stability	$T_C = 125^\circ\text{C}$		0.2			0.2		°C/chr

Note 1: Accuracy measurements are made in a well-stirred oil bath. For other conditions, self heating must be considered.

Note 2: Continuous operation at these temperatures for 10,000 hours for H package and 5,000 hours for Z package may decrease life expectancy of the device.



Application Hints

CALIBRATING THE LM135

Included on the LM135 chip is an easy method of calibrating the device for higher accuracies. A pot connected across the LM135 with the arm tied to the adjustment terminal allows a 1-point calibration of the sensor that corrects for inaccuracy over the full temperature range.

This single point calibration works because the output of the LM135 is proportional to absolute temperature with the extrapolated output of sensor going to 0V output at 0°K (-273.15°C). Errors in output voltage versus temperature are only slope (or scale factor) so a slope calibration at one temperature corrects at all temperatures.

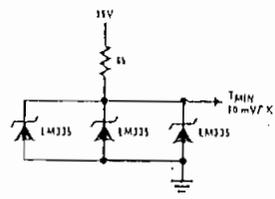
The output of the device (calibrated or uncalibrated) can be expressed as:

$$V_{OUT_T} = V_{OUT_{T_0}} \times \frac{T}{T_0}$$

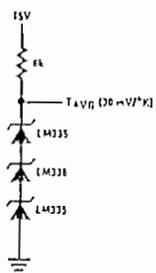
where T is the unknown temperature and T₀ is a reference temperature, both expressed in degrees Kelvin. By calibrating the output to read correctly at one

Typical Applications (Continued)

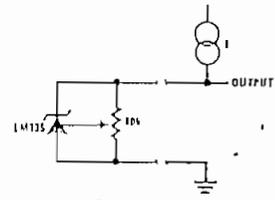
Minimum Temperature Sensing



Average Temperature Sensing



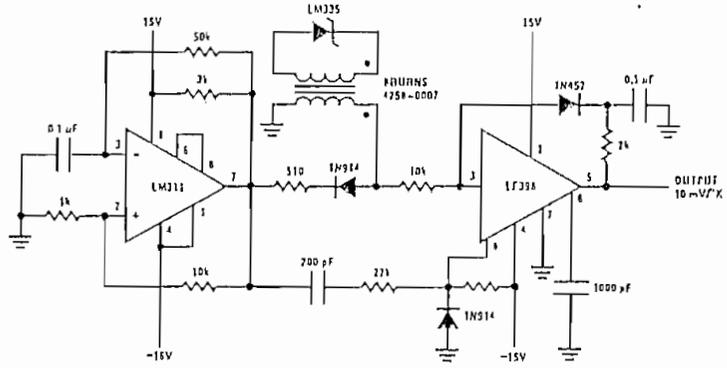
Remote Temperature Sensing



Wire length for 1°C error due to wire drop

AWG	I _R = 1 mA FEET	I _R = 0.5 mA FEET
14	4000	8000
16	2500	5000
18	1600	3200
20	1000	2000
22	625	1250
24	400	800

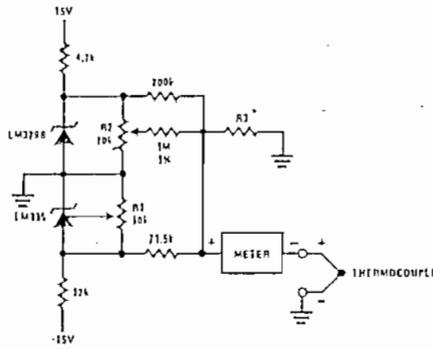
Isolated Temperature Sensor



Typical Applications (Continued)

THERMOCOUPLE COLD JUNCTION COMPENSATION

Compensation for Grounded Thermocouple



* Select R3 for proper thermocouple type

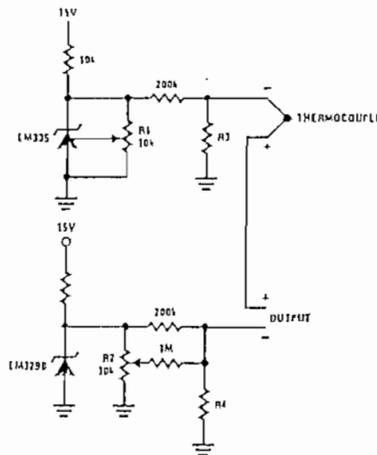
THERMO-COUPLE	R3	SEEBECK COEFFICIENT
J	377Ω	52.3 μV/°C
T	308Ω	42.8 μV/°C
K	293Ω	40.8 μV/°C
S	45.8Ω	6.4 μV/°C

Adjustments: Compensates for both sensor and resistor tolerances

1. Short LM329B
2. Adjust R1 for Seebeck Coefficient (times ambient temperature in degrees K) across R3
3. Short LM335 and adjust R2 for voltage across R3 corresponding to thermocouple type

J	14.32 mV	K	11.17 mV
T	11.79 mV	S	1.768 mV

Single Power Supply Cold Junction Compensation



* Select R3 and R4 for thermocouple type

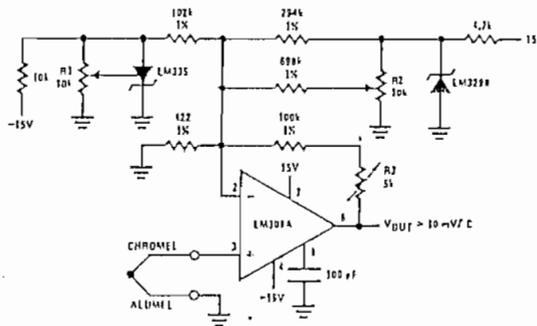
THERMO-COUPLE	R3	R4	SEEBECK COEFFICIENT
J	1.05K	305Ω	52.3 μV/°C
T	856Ω	315Ω	42.8 μV/°C
K	816Ω	300Ω	40.8 μV/°C
S	128Ω	46.3Ω	6.4 μV/°C

Adjustments:

1. Adjust R1 for the voltage across R3 equal to the Seebeck Coefficient times ambient temperature in degrees Kelvin.
2. Adjust R2 for voltage across R4 corresponding to thermocouple

J	14.32 mV	K	11.17 mV
T	11.79 mV	S	1.768 mV

Centigrade Calibrated Thermocouple Thermometer

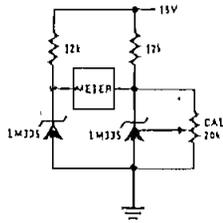


Terminate thermocouple reference junction in close proximity to LM335.

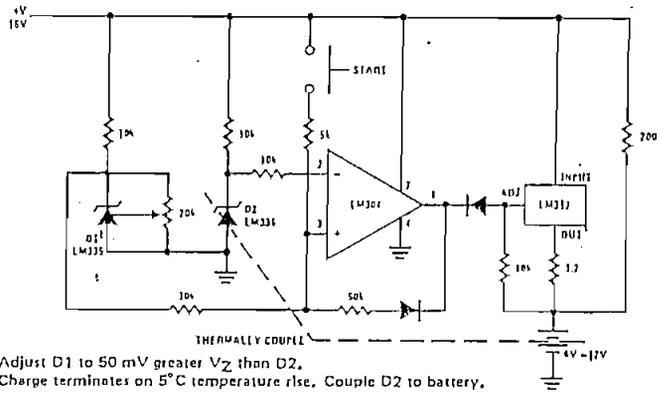
Adjustments:

1. Apply signal in place of thermocouple and adjust R3 for a gain of 245.7.
2. Short non-inverting input of LM308A and output of LM329B to ground.
3. Adjust R1 so that $V_{OUT} = 2.982V @ 25^{\circ}C$.
4. Remove short across LM329B and adjust R2 so that $V_{OUT} = 246 mV @ 25^{\circ}C$.
5. Remove short across thermocouple.

Differential Temperature Sensor

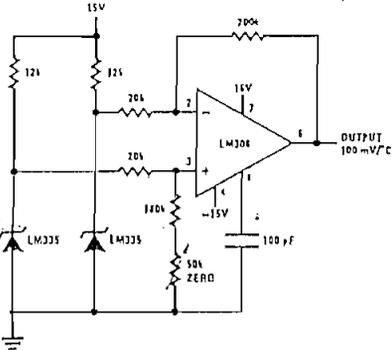


Fast Charger for Nickel-Cadmium Batteries

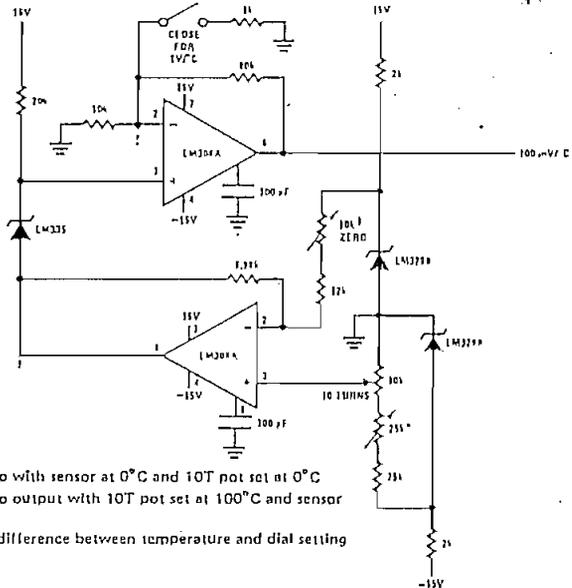


† Adjust D1 to 50 mV greater V_Z than D2.
Charge terminates on 5°C temperature rise. Couple D2 to battery.

Differential Temperature Sensor

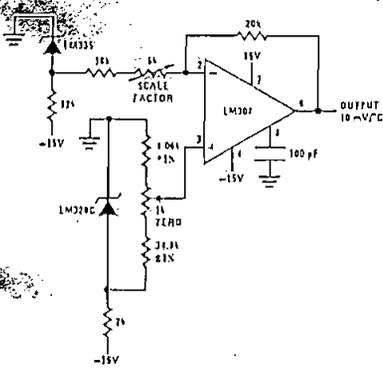


Variable Offset Thermometer

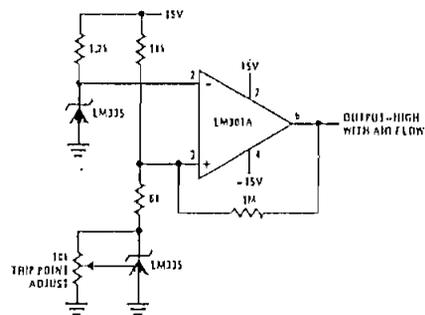


† Adjust for zero with sensor at 0°C and 10T pot set at 0°C
* Adjust for zero output with 10T pot set at 100°C and sensor at 100°C
‡ Output reads difference between temperature and dial setting of 10T pot

Ground-Referenced Centigrade Thermometer



Air Flow Detector*



* Self heating is used to detect air flow

LM35/LM235/LM335, LM135A/LM235A/LM335A



LM135/LM235/LM335, LM135A/LM235A/LM335A/LM335Z

Definition of Terms

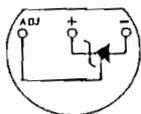
Operating Output Voltage: The voltage appearing across the positive and negative terminals of the device at specified conditions of operating temperature and current.

Uncalibrated Temperature Error: The error between the operating output voltage at $10 \text{ mV}/^\circ\text{K}$ and case temperature at specified conditions of current and case temperature.

Calibrated Temperature Error: The error between operating output voltage and case temperature at $10 \text{ mV}/^\circ\text{K}$ over a temperature range at a specified operating current with the 25°C error adjusted to zero.

Connection Diagrams

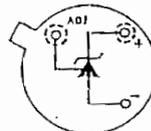
TO-92
Plastic Package



BOTTOM VIEW

Order Number LM335Z
or LM335AZ
See NS Package Z03A

TO-46
Metal Can Package*



BOTTOM VIEW

* Case is connected to negative pin

Order Number LM135H,
LM235H, LM335H, LM135AH,
LM235AH or LM335AH
See NS Package H03H