



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

'INCUBADORA ORBITAL
PARA
CULTIVOS BACTERIOLÓGICOS'

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
ÁREA ELÉCTRICA-ELECTRÓNICA

PRESENTA:

ROGELIO VILLARRUEL RAMÍREZ



DIRECTOR:
ING. JOSÉ LUIS RODRÍGUEZ PÉREZ

CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO D.F.

NOVIEMBRE, 2004.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos:

A mis padres, por todo el amor y apoyo que me han dado: Alvaro Villarruel y
Gloria Ramírez.

A mis hermanos, por todos los buenos momentos que hemos pasado juntos: Sofía,
Alvaro, Leticia, Laura y Lizbeth.

A toda mi familia.

Al Ingeniero José Luis y familia, por todos los conocimientos transmitidos, por su
amistad y confianza.

A todos los cuates del cubículo del Departamento de Instrumentación del Instituto
de Ingeniería.

A todas aquellas personas que de una u otra manera colaboraron en el desarrollo
de la presente tesis.

A todos gracias.

Rogelio Villarruel Ramírez.

ÍNDICE

Capítulo I. Introducción.	1
I.1 Antecedentes.	1
I.2 Objetivos.	3
I.3 Importancia del desarrollo de tecnologías nacionales.	4
Capítulo II. Sistema mecánico y térmico.	5
II.1 Sistema mecánico.	5
II.1.1 Introducción a los motores eléctricos.	6
II.2 Selección del tipo de motor.	7
II.3 Sistema de transmisión mecánica.	10
II.4 Consideraciones especiales del ensamble mecánico.	12
II.5 Sistema térmico.	14
Capítulo III. Sistema electrónico.	15
III.1 Control de temperatura.	15
III.1.1 Circuito acondicionador de señal y control.	15
III.1.1.1 Introducción.	15
III.1.1.2 Transductores de temperatura.	17
III.1.1.2.1 Termómetros de resistencia.	19
III.1.1.2.2 Termistores.	20

III.1.1.2.3 Sensores de CI. -----	22
III.1.1.2.4 Termopares. -----	23
III.1.1.2.5 Pirómetros de radiación. -----	24
III.1.1.3 Selección del sensor. -----	24
III.1.2 Circuito de control y desplegado. -----	25
III.1.3 Sistema de protección contra altas temperaturas. -----	28
III.2 Control de velocidad. -----	29
III.2.1 Circuito PWM. -----	29
III.2.2 Circuito de potencia. -----	32
III.2.3 Convertidor digital-analógico. -----	33
Capítulo IV. Fuentes de alimentación. -----	36
IV.1 Fuentes de alimentación para los displays. -----	36
IV.1.1 Funcionamiento del circuito doblador de voltaje. -----	37
IV.2 Fuente de alimentación del motor. -----	39
IV.2.1 Funcionamiento del circuito rectificador. -----	40
IV.3 Fuente de alimentación para el circuito de control. -----	41
IV.3.1 Funcionamiento del circuito. -----	41
Capítulo V. Circuitos impresos y distribución de elementos. -----	43
V.1 Generando los esquemáticos. -----	43
V.2 Generando las pistas. -----	46
V.3 Transfiriendo el diseño de los impresos. -----	48
V.4 Obteniendo los impresos. -----	48

Capítulo VI. Carátula.	51
Capítulo VII. Instrucciones de uso.	55
VII.1 Interruptor principal.	55
VII.2 Plataforma.	56
VII.3 Temperatura.	58
VII.4 Especificaciones.	60
Capítulo VIII. Lista de materiales.	61
Capítulo IX. Conclusiones y resultados.	62
Bibliografía.	64

Capítulo I. Introducción.

I.1 Antecedentes.

En el análisis de algunos procesos biológicos y químicos en los laboratorios, es común que se requiera estudiar el comportamiento de una variable en función de otras.

Para realizar este análisis, la sustancia base, ya sea química, biológica o una combinación bioquímica va a ser mezclada con alguna otra sustancia de naturaleza semejante, en determinadas proporciones y condiciones de temperatura.

Este es el caso de los cultivos bacteriológicos que por lo regular, se encuentran diluidos en un líquido, casi siempre con base de agua. Estos cultivos son adicionados de algunos elementos como alimento, o bien, sustancias tóxicas para las bacterias.

Estas mezclas se realizan con la finalidad de conocer el comportamiento y los límites de tolerancia de dichas bacterias, de tal forma que se requiere dividir la colonia bacteriológica en una serie de frascos con condiciones semejantes.

El equipo que nosotros proponemos realizar tiene capacidad para 64 frascos y es una cifra muy familiar para los investigadores del ramo que emplean equipos comerciales.

En estos frascos se coloca una muestra líquida que contiene las bacterias y gradualmente se les agrega al primero, una gota de alimento, al segundo dos, y así sucesivamente hasta el último frasco. Para garantizar una adecuada distribución del alimento con las bacterias, es necesario mantener el conjunto en continuo movimiento ya que muchas de las sustancias manejadas se comportan

en forma de suspensión y de otro modo, se precipitarían algunos elementos. Con esto, buscamos que todas las bacterias dentro del frasco tengan las mismas oportunidades de obtener alimento y de estar en contacto con el resto de las sustancias en el líquido.

Este procedimiento, le permite al investigador desarrollar un estudio serio sobre el comportamiento de dichas colonias, con relación a cada una de las sustancias que requiere experimentar y no exclusivamente, con el alimento.

Para afinar la calidad de esta prueba, requerimos que la temperatura y el tiempo bajo los cuales se realiza, estén perfectamente definidos, por ello proponemos el desarrollo de un equipo que permita mantener 64 frascos de 80 ml sobre una plataforma con movimiento orbital y velocidad controlada para mantener la agitación, en un ambiente con temperatura también controlada y con un reloj que permita acotar el tiempo del experimento.

Todo esto, como ya mencionamos, puede ser utilizado para conocer el comportamiento de la reacción en dos elementos químicos, sin embargo, la aplicación más importante del instrumento, está orientada a procesos biológicos y por ello le damos el nombre de incubadora. Específicamente, este equipo será utilizado dentro de los procesos de control de tratamientos de aguas residuales.

Por lo tanto, el nombre del trabajo "Incubadora orbital para cultivos bacteriológicos" se refiere a la descripción y características que acabamos de mencionar.

I.2 Objetivos.

Al desarrollar este trabajo pretendemos obtener un instrumento confiable, de bajo mantenimiento, robusto, que nos permita realizar las funciones descritas.

Se busca que la incubadora terminada estabilice la temperatura en su interior con variaciones máximas de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ a temperaturas que van desde la ambiente, hasta 50°C .

En el interior de esta cámara se encuentra la plataforma portamuestras dimensionada para 64 frascos de 80 ml que equivale aproximadamente a 6 Kg en total y es la masa que tiene que desplazar el motor.

Así mismo, la idea es alcanzar que el movimiento orbital de la plataforma portamuestras se pueda ajustar entre 40 y 250 rpm $\pm 5\%$. Se incluye un reloj que opcionalmente puede incorporar el usuario para trabajo continuo o limitado a períodos de 1 hora o menores, para mejorar la repetibilidad en procesos de laboratorio y reduciendo en una buena medida el error humano.

En el diseño contemplamos un seguro contra sobretensión, contra sobrevoltajes en la alimentación; un fácil manejo, es decir, que los controles y los indicadores sean sencillos y claros, manteniendo una buena precisión.

I.3 Importancia del desarrollo de tecnologías nacionales.

Una de las razones por la cual se deben desarrollar tecnologías nacionales, es debido a la gran dependencia tecnológica que nos obliga a importar la gran mayoría de los instrumentos utilizados en un laboratorio, con los consecuentes problemas que esto implica: como por ejemplo, el precio elevado de los instrumentos de laboratorio, sus accesorios, refacciones y servicios relacionados, como son: la instalación, calibraciones, asesorías y mantenimiento; con su respectivo consumo de tiempo en cada proceso.

La investigación es un reto, cuyo objetivo principal es hacer trabajos originales, que no sean rutinarios, sino innovadores, y cuyo límite es precisamente nuestro propio nivel de ambición; pero cuidando en todo momento la factibilidad y realismo para poder desarrollar plenamente nuestras ideas con aplicaciones directas a problemas concretos.

En países como el nuestro, el desarrollo de tecnologías enfrenta una serie de retos, como son: la complejidad misma de la tecnología, las dificultades para obtener apoyo y recursos sobre procesos de dudosos resultados y la fuerte competencia de países desarrollados debido a la globalización.

Capítulo II. Sistemas mecánico y térmico.

II.1 Sistema mecánico.

Una de las partes más importantes del proyecto es el chasis, ya que se encarga de soportar y dar rigidez a cada una de las partes que integran esta incubadora, así como a los 64 frascos de 80 ml de muestras que representan un peso aproximado de 6 Kg.

Otra unidad relevante, son las partes móviles, que están formadas por el motor principal, las poleas, bandas, baleros y plataforma portafrascos. Además, existen dos ventiladores, uno para mantener a una temperatura adecuada los elementos eléctricos y electrónicos; y el otro, encargado de mantener homogénea la temperatura en el interior de la cámara.

Un aspecto importante al diseñar ésta etapa, es la búsqueda de un mantenimiento sumamente bajo o de ser posible, nulo. Considerando que la incubadora debe operar en ciclo de trabajo continuo.

En la figura 2-1 se muestra el chasis de la incubadora, donde se aprecia la cavidad de la incubadora, al fondo, los dos ductos de entrada y salida de aire caliente. En la parte baja, la plataforma de movimiento orbital incluyendo sus tres puntos de apoyo. Y a la derecha, parte de la cavidad para las unidades electrónicas y controles al usuario.

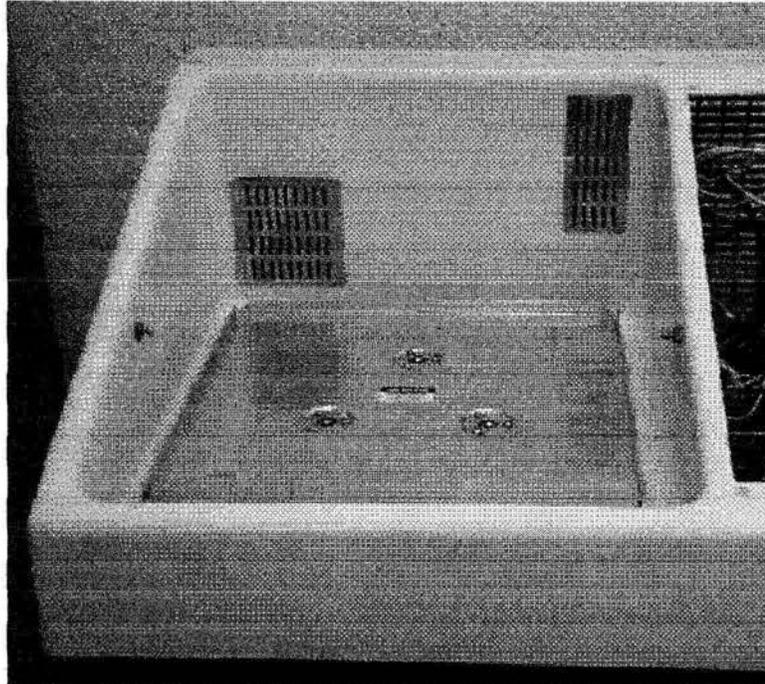


Fig.2-1 Chasis incubadora.

Ahora procedemos a escoger el motor que proporcionará el movimiento a la plataforma, para lo cual, daremos una clasificación y una breve explicación del funcionamiento de los principales tipos de motores eléctricos.

II.1.1 Introducción a los motores eléctricos.

La variedad de diseños de motores eléctricos es muy amplia, fundamentalmente se clasifican en motores de alterna y motores de directa.

Dentro de los motores de alterna existe un gran número de versiones diferentes, dependiendo de su arquitectura interna, número de polos eléctricos y modo de operación.

Según lo anterior, un motor puede ser síncrono o asíncrono (de inducción), monofásico, bifásico o trifásico. Este tipo de motores se caracteriza por un

bajísimo grado de mantenimiento ya que los carbones hacen contacto con anillos conductores de baja fricción que reducen en una forma importante su desgaste y en otros casos, no existen los carbones.

Por su parte, los motores de directa pueden clasificarse en motores serie, paralelo, mixto y de imán permanente.

Los primeros tres tipos se consideran motores universales ya que pueden operar en condiciones de directa o de alterna, con algunas pequeñas diferencias. En cambio, el de imán permanente opera exclusivamente en directa.

II.2 Selección del tipo de motor.

El motor empleado en la incubadora debe permitirnos la variación de velocidad, tener un alto par de arranque, bajo mantenimiento y trabajo en ciclo continuo.

De los motores mencionados anteriormente, los de directa facilitan la variación de velocidad, aunque también es posible en uno de alterna. En el caso de estos últimos, el procedimiento se maneja por medio de un sistema llamado inversor y consiste en convertir el voltaje de alterna en directa, para posteriormente sintetizar un nuevo voltaje de alterna de otra frecuencia. Así, este método se basa en variar la frecuencia de alimentación al motor. La variación de velocidad que podemos alcanzar con esta técnica es muy reducida y por la complejidad del equipo inversor resulta cara.

Con relación a los motores de directa, la variación de velocidad es tan simple, como variar el voltaje de alimentación.

Referente al torque producido por un motor, tienen diferente comportamiento cada uno de ellos con relación a la velocidad angular. Fundamentalmente, los de

alterna prácticamente carecen de par en velocidades bajas, mientras que esta característica es la más fuerte para los motores de directa.

Por otra parte, la característica de operar en ciclo continuo depende del dimensionamiento del motor. Al trabajar un motor, genera calor en su interior y al mismo tiempo algún sistema de ventilación interna retira este calor. Cuando la ventilación de un motor está sobrada se dice que puede operar en ciclo continuo, de lo contrario deberíamos usarlo en ciclo intermitente para permitirle que se enfríe. Esta característica, es indistinta para todos los tipos de motores.

En el caso de motores de directa se requiere mantenimiento de carbones con mayor frecuencia que uno de alterna, debido a que en la parte del rotor el de directa tiene un conmutador formado por delgas, mientras que en el caso de los de alterna que utilizan este sistema para pasar energía, manejan anillos con un nivel de fricción muy inferior a los de conmutador, además cuando se utiliza el sistema de conmutador, produce chispa mientras está girando y a su vez, ésta, produce una temperatura muy alta que predispone el desgaste de la pieza. Esto hace que los de alterna requieran menos mantenimiento, sin embargo, el mantenimiento de un motor de directa sigue siendo muy pequeño.

De las características expuestas anteriormente para cada tipo de motor, podemos ver que la principal desventaja de los motores de alterna es que trabajan a velocidades que dependen directamente de la frecuencia de alimentación y generalmente se refiere a velocidades fijas o variables mediante el dispositivo inversor.

Otra gran desventaja es que las máquinas de alterna requieren de algún sistema que las lleve a la velocidad de trabajo además de que normalmente este tipo de motores son diseñados para potencias grandes, con el consecuente tamaño de las mismas.

Luego entonces, el tipo de motor más adecuado a la aplicación sería uno de directa y entre ellos, seleccionamos uno de imanes permanentes, esto debido a la facilidad para obtenerlo en el comercio y a su bajo precio.

Específicamente, utilizaremos un motor comercial que se emplea en la manufactura de máquinas de pequeño porte, paneles publicitarios, camas hospitalarias, etc. estos motores trabajan a 12 voltios y 1.2 amperes sin carga, pudiendo llegar hasta 5 amperes con carga, tienen una velocidad promedio de 1600 rpm.

Puesto que este tipo de motores se fabrica para soportar condiciones rudas de trabajo y tiempos continuos de funcionamiento, lo hace ideal para nuestra aplicación. En la figura 2-2 tenemos una fotografía del motor.

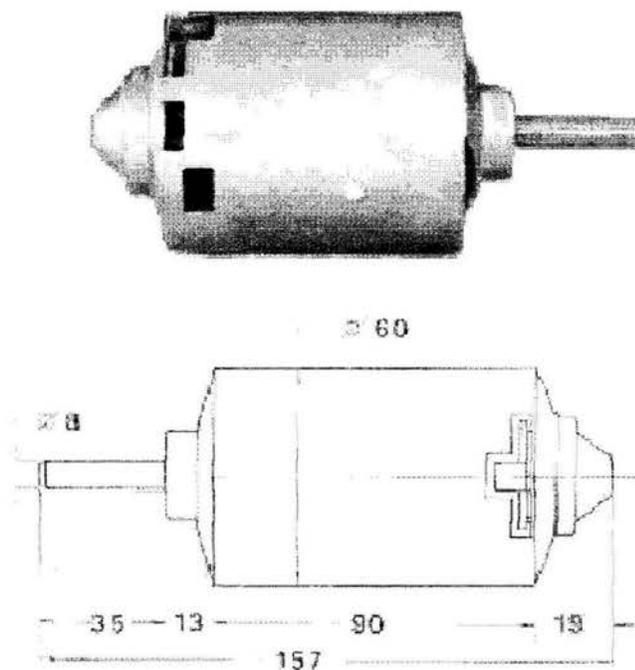


Fig. 2-2 Motor de cd utilizado para proporcionar el movimiento a la plataforma.

II.3 Sistema de transmisión mecánico.

La transmisión de energía mecánica se resolvió mediante un juego de poleas y una banda.

La misión de este sistema es la de aplicar el movimiento del motor a la plataforma portamuestras, reduciendo la velocidad angular e incrementando el torque.

La plataforma requiere moverse a una velocidad angular mínima de 50 rpm y una máxima de 250, mientras que el motor prácticamente gira de 0 a 1600 rpm, cuando se alimenta con tensiones de 0 a 12 V cd aproximadamente. Con esto, podemos definir las dimensiones de las poleas, basándonos en la figura 2-3:

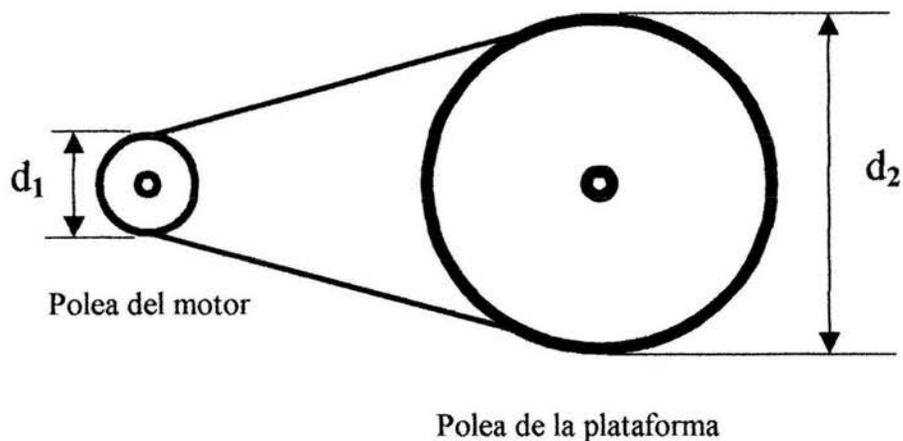


Fig. 2-3 Poleas del motor y la plataforma.

La velocidad tangencial de la polea 1 (motor) es:

$$V_{T1} = \pi d_1 \times 1600 \text{ cm/min} \dots(1)$$

la velocidad tangencial de la polea 2 (plataforma) es:

$$V_{T2} = \pi d_2 \times 250 \text{ cm/min} \dots(2)$$

puesto que la velocidad tangencial en la polea 1 es la misma que en la polea 2, podemos igualar la ec. (1) con la ec. (2), entonces:

$$\pi d_1 \times 1600 = \pi d_2 \times 250$$

simplificando:

$$d_2 / d_1 = 1600 / 250 \quad \text{ó} \quad d_2 = 6.4d_1 \dots(3)$$

Por lo que la relación de diámetros corresponde a 6.4. Por otra parte, ninguna de las poleas puede tener un diámetro demasiado pequeño porque la banda se doblaría excesivamente, ni demasiado grande porque ocuparía demasiado espacio, por ello decidimos fabricar la polea del motor con un diámetro de 3 cm y con ayuda de la ecuación (3) determinamos 19.2 cm de diámetro para la polea 2. En la figura 2-4 se muestran los diámetros finales en cm:

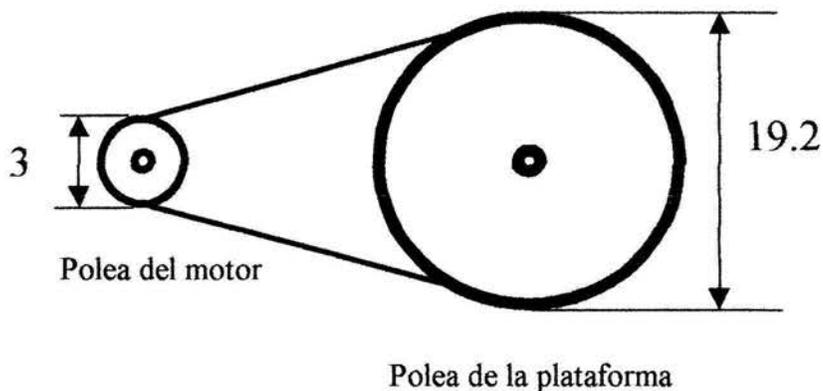


Fig. 2-4 Diámetros finales.

II.4 Consideraciones especiales del ensamble mecánico.

Para instalar el motor sobre el chasis, diseñamos una base de tal manera que permita el fácil intercambio del mismo en caso de que requiera mantenimiento o sustitución.

Haciendo pruebas del funcionamiento del motor ya instalado, observamos que la corriente necesaria para mantener las 250 rpm y un peso en la plataforma de 10Kg sube a aproximadamente 4.7 amperes, corriente que reduciría la vida útil del motor, por el hecho de estar trabajándolo prácticamente al máximo.

Buscando las causas por las cuales se producía esta corriente alta, nos dimos cuenta que se debía a la gran tensión en la banda, ésta tensión no es fácil de ajustar, pues una pequeña separación entre las poleas significa una tensión grande y un pequeño acercamiento entre ellas, da como resultado una tensión nula que provoca que se patine la banda.

Se pensó primero en impregnar a las poleas con una resina especial para aumentar la fricción, sin necesidad de aumentar la tensión de la banda; ésta alternativa funcionó durante poco tiempo debido a que la resina iba perdiendo sus propiedades, obligándonos a impregnar la banda con ésta resina cada cierto tiempo, lo que sería un verdadero problema para el funcionamiento de la incubadora dentro de un laboratorio, por el hecho de que se tendría que retirar la tapa inferior periódicamente; esto iría en contra de uno de los objetivos principales del funcionamiento normal de la incubadora, que es el de que trabaje durante períodos prolongados de tiempo, con un mantenimiento mínimo.

La única solución era la de producir de alguna otra manera, solo la tensión necesaria para que la banda pudiera mantener la fricción mínima necesaria sobre

las poleas del motor y de la plataforma (sin que el motor se viese forzado); la solución fue colocar una tercera polea, la cual es tensada por un resorte que proporciona la fuerza necesaria para producir dicha tensión. La fuerza producida por este resorte puede ser calibrada mediante la posición de un elemento de apoyo móvil.

La figura 2-5 muestra como quedó instalada la polea auxiliar:

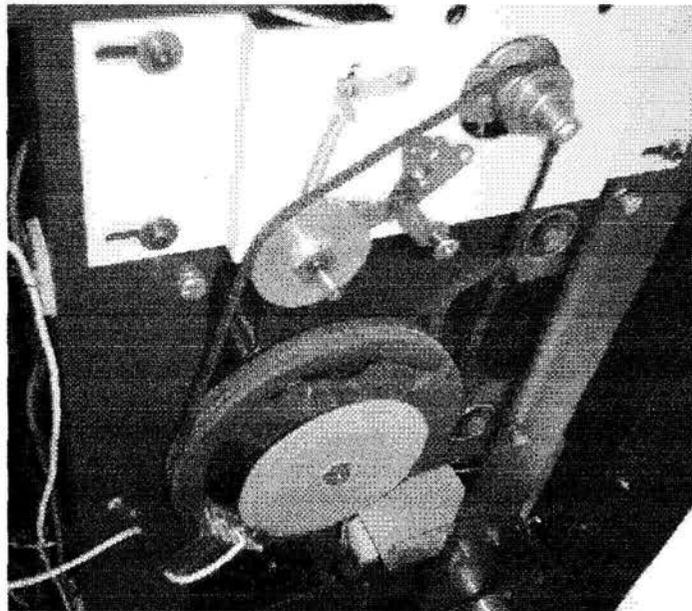


Fig. 2-5 fotografía del conjunto polea resorte.

Realizando nuevamente las pruebas de funcionamiento, ahora con la polea auxiliar, se observó que la corriente que demanda el motor para la velocidad máxima de plataforma (250 rpm), es tan solo de 1.4 amperes, con lo que el motor trabaja prácticamente en vacío (sin carga), aún y con el peso de 10 Kg en la plataforma, asegurando definitivamente que de esta manera el motor podrá

trabajar durante largos periodos de tiempo sin dañarse, alargando en forma significativa su vida útil.

II.5 Sistema térmico.

El sistema térmico está constituido por una cámara de 53.5 x 34 x 52 cm, la cual se encuentra aislada térmicamente, por la parte superior con la tapa de acrílico de 1 cm de grosor y por las partes laterales e inferior por fibra de vidrio.

El elemento utilizado para elevar la temperatura del aire, es un resistor de alambre, el cual se alimenta con 127VCA. Puesto que el valor de resistencia es de 50Ω , según la Ley de Ohm, la corriente máxima que circula por ella es de:

$$I = V/R,$$

$$I = 127/50,$$

$$I = 2.54 \text{ A}$$

Por lo que la potencia que puede entregar es:

$$P = RI^2, P = (50)(2.54)^2$$

$$P = 322 \text{ W}$$

El aire se hace circular con un pequeño ventilador instalado en la parte posterior de la incubadora, disminuyendo los gradientes de temperatura que pudieran existir en el interior de la misma.

Capítulo III. Sistema electrónico.

III.1 Control de temperatura.

III.1.1 Circuito acondicionador de señal y control.

III.1.1.1 Introducción.

Se han inventado muchos instrumentos para medir la temperatura de forma precisa. Todo empezó con el establecimiento de una escala de temperaturas. Esta escala permite asignar un número a cada medida de la temperatura.

A principios del siglo XVIII, Gabriel Fahrenheit (1686-1736) creó la escala Fahrenheit. Fahrenheit asignó al punto de congelación del agua una temperatura de 32 grados y al punto de ebullición una de 212 grados. Su escala esta anclada en estos dos puntos.

Unos años más tarde, en 1743, Anders Celsius (1701-1744) inventó la escala Celsius. Usando los mismos puntos de anclaje Celsius asignó al punto de congelación del agua una temperatura de 0 grados y al de ebullición una de 100 grados. La escala Celsius se conoce como el Sistema Universal. Es el que se usa en la mayoría de los países y en todas las aplicaciones científicas.

Hay un límite a la temperatura mínima que un objeto puede tener. La escala Kelvin está diseñada de forma que este límite es la temperatura 0.

La relación entre las diferentes escalas de temperatura es la siguiente:

$$K = 273.15 + ^\circ C \quad ^\circ C = (5/9)(^\circ F - 32) \quad ^\circ F = (9/5)^\circ C + 32$$

A la temperatura del cero absoluto no hay movimiento y no hay calor, es cuando todo el movimiento atómico y molecular se detiene y es la temperatura más baja posible. El cero absoluto tiene lugar a 0 Kelvin, -273.15 grados Celsius ó -460 grados Fahrenheit. Todos los objetos tienen una temperatura más alta que el cero absoluto y por lo tanto emiten energía térmica o calor.

La temperatura es el promedio de la energía cinética de las moléculas que componen una sustancia. Los átomos y las moléculas no siempre se mueven a la misma velocidad. Esto significa que hay un rango de energías entre ellas. En un gas, por ejemplo, las moléculas se mueven en direcciones aleatorias y a diferentes velocidades, algunas se mueven rápido y otras más lentamente. A veces estas moléculas colisionan entre si, cuando esto tiene lugar, las moléculas que se mueven más deprisa transfieren parte de su energía a las que se mueven más despacio, haciendo que las más rápidas se ralenticen y las más lentas se aceleren.

Si ponemos más energía en el sistema, la velocidad media de las moléculas se incrementa, lo que hace que se produzca energía térmica o calor. Por lo tanto, temperaturas altas corresponden a sustancias que tienen un movimiento medio molecular mayor. Nosotros, por supuesto, no podemos sentir ni medir el movimiento de cada molécula, solo el movimiento medio de todas ellas.

En un objeto frío las moléculas se mueven lentamente y en uno caliente se mueven deprisa. Cuando dos objetos se ponen en contacto sus movimientos moleculares medios se igualan y cuando esto ocurre se dice que han alcanzado equilibrio térmico.

Se comparan los cuatro tipos más corrientes de transductores de temperatura que se usan en los sistemas de adquisición de datos: detectores de temperatura de resistencia (RTD), termistores, sensores de CI y termopares. La elección de los transductores de temperatura adecuados y su correcta utilización puede marcar la diferencia entre unos resultados equívocos y unas cifras fiables.

III.1.1.2 Transductores de Temperatura.

Los transductores eléctricos de temperatura utilizan diversos fenómenos físicos que son influidos por dicha temperatura, entre los cuales figuran:

- Variación de resistencia en un conductor (sondas de resistencia).
- Variación de resistencia de un semiconductor (termistores).
- f.e.m. creada en la unión de dos metales distintos (termopares).
- Intensidad de la radiación total emitida por el cuerpo (pirómetros de radiación).
- Otros fenómenos utilizados en laboratorio (velocidad del sonido en un gas, frecuencia de resonancia de un cristal, etc.).

Los metales puros tienen un coeficiente de resistencia de temperatura positivo bastante constante. El coeficiente de resistencia de temperatura, generalmente llamado coeficiente de temperatura es la razón de cambio de resistencia al cambio de temperatura. Un coeficiente positivo significa que la resistencia aumenta a medida que aumenta la temperatura y un coeficiente negativo significa que la resistencia disminuye a medida que la temperatura aumenta.

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

Cuando se usan óxidos metálicos para la medición de temperatura, el material de óxidos metálicos conformado en forma que se asemejan a pequeños bulbos o pequeños capacitores, el dispositivo formado así se llama termistor. Los termistores tienen coeficientes de temperatura negativos grandes que no son constantes. En otras palabras, el cambio de resistencia por unidad de cambio de temperatura es mucho mayor que para el metal puro, pero el cambio es en la otra dirección: la resistencia disminuye a medida que se aumenta la temperatura. El hecho de que el coeficiente no sea constante significa que el cambio en la resistencia por unidad de cambio de temperatura es diferente a diferentes temperaturas.

La alinealidad extrema de los termistores los hace poco apropiados para la medición de temperatura a través de rangos amplios. Sin embargo, para la medición de temperaturas dentro de bandas angostas, están muy bien dotados, pues dan una gran respuesta a un cambio de temperatura pequeño.

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

Ningún transductor es el mejor en todas las situaciones de medida, por lo que tenemos que saber cuándo debe utilizarse cada uno de ellos. Como podemos ver, en la Tabla 3-1 se están comparando los cuatro tipos de transductores de temperatura más utilizados, y refleja los factores que deben tenerse en cuenta: las prestaciones, el alcance efectivo, el precio y la comodidad.

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

Tabla 3-1 Comparación entre los sensores de temperatura mas usados.

Un análisis más detallado de cada uno de estos cuatro tipos nos ayudará a entender las diferencias.

III.1.1.2.1 Termómetros de resistencia.

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

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

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

$$R_t = R_0 (1 + \alpha \Delta t)$$

En la que:

R_0 = Resistencia inicial en ohms.

R_t = Resistencia final en ohms.

α = Coeficiente de temperatura de la resistencia en ohms^{-1} .

Δt = temperatura final menos temperatura inicial en $^{\circ}\text{C}$

La elección del platino en los RTD de la máxima calidad permite realizar medidas más exactas y estables hasta una temperatura de aproximadamente 500°C . Los RTD más económicos utilizan níquel o aleaciones de níquel, pero no son tan estables ni lineales como los que emplean platino.

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

Una tercera desventaja, que afecta al uso de este dispositivo para medir la temperatura, es la resistencia de los RTD. Al ser tan baja, la resistencia de los hilos conductores que conectan el RTD puede provocar errores importantes. En la denominada técnica de dos hilos, la resistencia se mide en los terminales del sistema de adquisición de datos, por lo que la resistencia de los hilos forma parte de la cantidad desconocida que se pretende medir. Por el contrario, la técnica de cuatro hilos mide la resistencia en los terminales del RTD, con lo cual la resistencia de los hilos queda eliminada de la medida. La contrapartida es que se necesita el doble de cables y el doble de canales de adquisición de datos. (La técnica de tres hilos ofrece una solución intermedia que elimina un cable, pero no es tan precisa.)

III.1.1.2.2 Termistores.

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

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

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

En la que:

R_t= Resistencia en ohms a la temperatura absoluta T_t.

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

β = constante dentro de un intervalo moderado de temperaturas.

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

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

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

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

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

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

III.1.1.2.3 Sensores de CI.

Los sensores de circuitos integrados resuelven el problema de la alinealidad y ofrecen altos niveles de rendimiento. Son, además, relativamente económicos y bastante precisos a temperatura ambiente.

Sin embargo, los sensores de CI no tienen tantas opciones de configuraciones del producto o de gama de temperaturas, y además son dispositivos activos, por lo que requieren una fuente de alimentación.

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

III.1.1.2.4 Termopares.

Los termopares se utilizan extensamente, ya que ofrecen una gama de temperaturas mucho más amplia y una construcción más robusta que otros tipos.

Además, no precisan alimentación de ningún tipo y su reducido precio los convierte en una opción muy atractiva para grandes sistemas de adquisición de datos. Sin embargo, para superar algunos de los inconvenientes inherentes a los termopares y obtener resultados de calidad, es importante entender la naturaleza de estos dispositivos.

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

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

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

III.1.1.2.5 Pirómetros de Radiación.

Los pirómetros de radiación se fundan en la ley de Stefan Boltzmann, que dice que la intensidad de energía radiante emitida por la superficie de un cuerpo aumenta proporcionalmente a la cuarta potencia de la temperatura absoluta del cuerpo, es decir, $W=KT^4$.

Los pirómetros de radiación miden, pues, la temperatura de un cuerpo a distancia en función de su radiación. Los instrumentos que miden la temperatura de un cuerpo en función de la radiación luminosa que éste emite, se denominan pirómetros ópticos de radiación parcial o pirómetros ópticos y los que miden la temperatura captando toda o una gran parte de la radiación emitida por el cuerpo, se llaman pirómetros de radiación total.

III.1.1.3 Selección del sensor.

Puesto que el intervalo de temperaturas que se requiere en la cámara de la incubadora va de 27 a 50°C, y comparando básicamente la linealidad y versatilidad, podemos concluir que el que mas nos conviene utilizar es el sensor de CI.

El sensor que utilizaremos es el LM35 (sensor de temperatura de precisión); la salida es de 10 mV/°C, no requiere ningún tipo de calibración, el rango de temperaturas va desde -55 a 150°C, opera en un amplio rango de voltajes (4 a 20

V), el autocalentamiento es de 0.08°C , baja impedancia de salida (0.1Ω para 1mA en la carga).

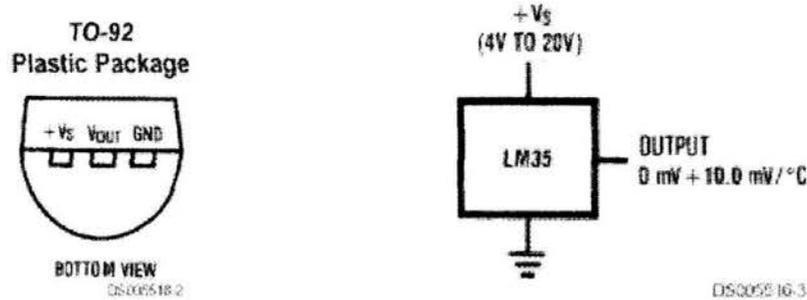


Fig. 3-1 LM35, sensor de temperatura de precisión.

El LM35 es un circuito integrado que incluye el sensor y el acondicionador de señal, puesto que por sí solo entrega una señal de voltaje proporcional a la temperatura, lo que representa una gran ventaja, simplificando en gran medida el diseño del circuito final.

III.1.2 Circuito de control y desplegado.

El circuito se implementó a base de un control on-off, un control on-off o de dos posiciones es el caso más simple de un control realimentado. Este tipo de controles es muy económico en su construcción, fácil de operar y de calibrar.

El control on-off tiene solamente dos posiciones de señal de control, que pueden ser alto o bajo, las cuales controlan la planta. Si la temperatura en la cámara es menor a la calibrada, la resistencia calefactora se enciende, y si la temperatura en la cámara es mayor, la resistencia calefactora se apaga.

Para implementar el circuito se utilizó el LF353N amplificador operacional doble. Un potenciómetro de 10k de precisión es utilizado para ajustar el voltaje que representa la temperatura a la cual se desea que se encuentre el interior de la incubadora, y el otro voltaje, proporcional a la temperatura dentro de la

incubadora, es entregado por el LM35. Ambos voltajes son comparados en el amplificador operacional para obtener el voltaje de control.

Para presentar el desplegado de temperatura se utilizó un convertidor analógico-digital integrado a una pantalla de cristal líquido de 3 ½ dígitos, como los utilizados en los multímetros digitales. Este convertidor toma la señal por medio de un seguidor de voltaje a través de un interruptor de dos polos un tiro, el cual se utiliza para mostrar el desplegado ya sea la temperatura dentro de la cámara o la temperatura de referencia.

Colocamos una resistencia en serie con el potenciómetro de ajuste de temperatura para limitar el voltaje que representa el valor de temperatura máxima. El valor de la resistencia debe ser tal que proporcione un valor de 50 x 10 mV o sea 500 mV como máximo en el potenciómetro:

Sabiendo que el divisor es polarizado con 5 V y el potenciómetro es de 10 K Ω , entonces:

$$0.5 = (5)(10k)/(10k + R_1)$$

despejando R_1 tenemos

$$R_1 = (50k - 5k) / 0.5$$

$$R_1 = 90k$$

$$\Rightarrow R_1 = 89 k \text{ (valor comercial)}$$

El circuito de control se muestra en la figura 3-2:

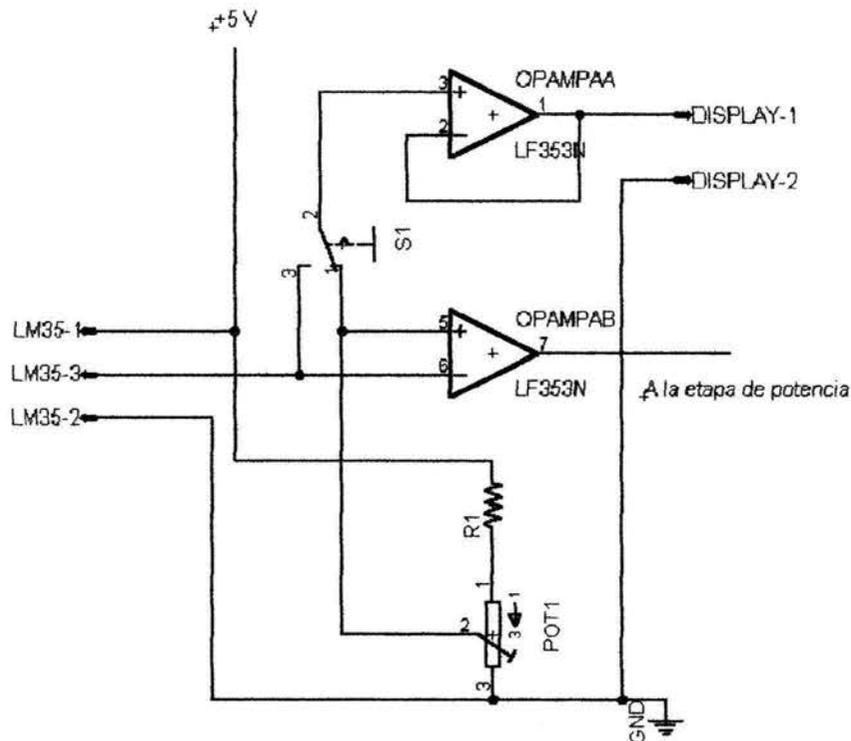


Fig. 3-2 Circuito acondicionador de señal y control.

El circuito de potencia está constituido por un triac y la resistencia calefactora; el triac hace las veces de interruptor para energizar la resistencia. Para aislar la parte de potencia de la de control se utilizó un optotriac MOC3041, el optotriac es activado por un transistor que recibe la señal proveniente del amplificador operacional. Este optoacoplador tiene la ventaja de contener un circuito detector de cruce por cero, por lo que el triac es disparado solo en el momento que el voltaje de 127 VAC tiene precisamente un valor de 0 V, entonces la resistencia calefactora recibe ciclos completos del voltaje de línea, reduciendo de esta forma la generación de voltajes de alta frecuencia que pudieran desestabilizar al circuito de control.

Puesto que la carga del triac es puramente resistiva, el tipo de acoplamiento entre el optotriac y el triac es la más simple, es decir no requerimos de filtros

pasobajas hacia el gate del triac por lo que se pueden conectar directamente, ni el filtro snuber entre MT1 y MT2.

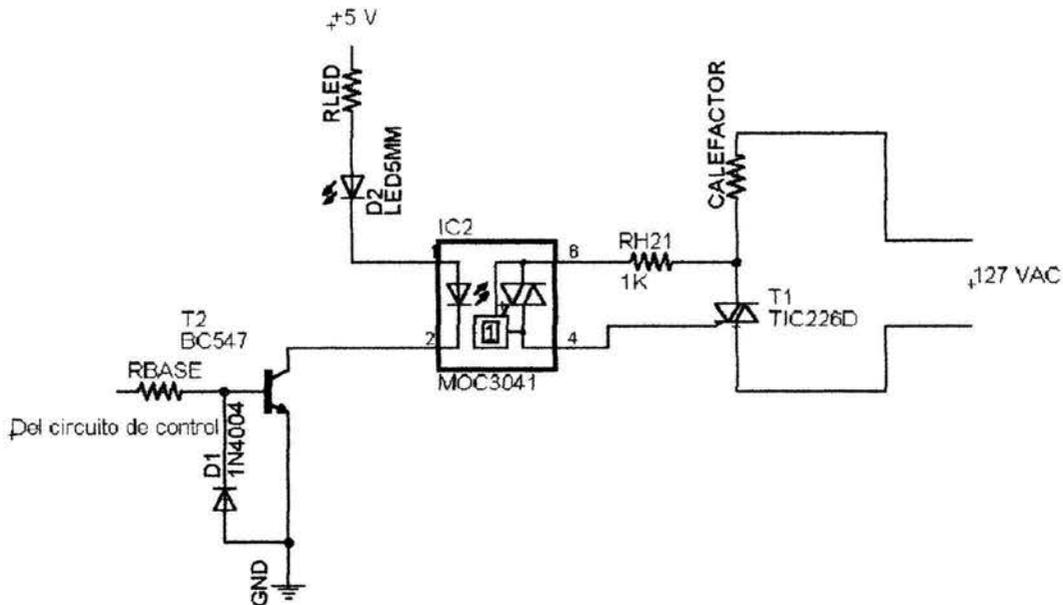


Fig. 3-3 Circuito de potencia.

Como podemos observar en el diagrama anterior, conectamos un led en serie con la resistencia de polarización del MOC3041, que sirve como foco piloto para saber cuando la resistencia calefactora se encuentra funcionando o se encuentra inactiva. El diodo D2 es utilizado para proteger al transistor del voltaje negativo proveniente del amplificador operacional.

III.1.3 Sistema de protección contra altas temperaturas.

Para proteger a la incubadora de altas temperaturas y lo que es mas importante, proteger a las personas que laboran en el laboratorio de un posible incendio, se instaló un relevador accionado por la expansión de un gas dentro de un bulbo, este bulbo sensa la temperatura a la cual se encuentra el interior de la incubadora, si por algún motivo se supera la temperatura máxima de operación, se activa el

relevador, cortando la energía de la línea suministrada a la incubadora. Es importante señalar que el funcionamiento de este sistema de protección es completamente independiente de la electrónica de control e inclusive del voltaje de alimentación de línea (127 VAC), por lo que evitamos prácticamente en un 100% la posibilidad de un accidente por altas temperaturas.

III.2 Control de velocidad.

III.2.1 Circuito PWM.

El control de velocidad se basó en un modulador por ancho de pulso (PWM por sus siglas en inglés) en malla abierta, este tipo de control tiene una ventaja principal sobre los que operan intercalando una resistencia variable o algún dispositivo activo funcionando como tal (como un transistor) entre la fuente y la carga (este tipo de control se conoce como control lineal), que es el ahorro considerable de energía; esto se debe a que en el control PWM tenemos un transistor en corte y saturación (trabajando como un interruptor a una frecuencia fija) entre la fuente y la carga como elemento que controla la potencia, por lo que la disipación de energía es mínima.

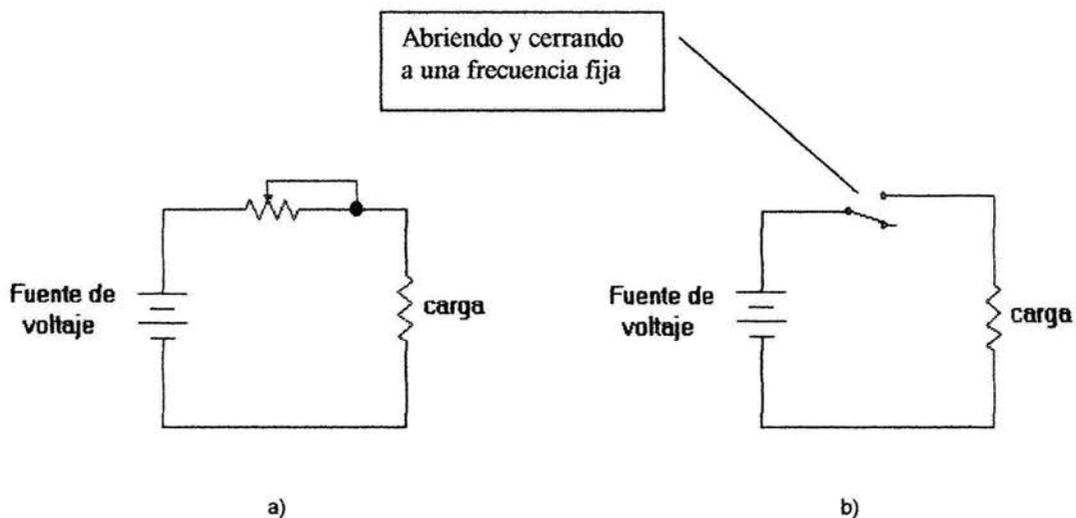


Fig. 3-4 a)control lineal b)control PWM

En el control PWM se compara una señal triangular contra un nivel de cd de control para obtener una señal cuadrada. El ciclo de trabajo de la onda cuadrada obtenida es variable según el nivel de cd de control, por lo que a mayor ciclo de trabajo mayor será el voltaje aplicado al motor y a menor ciclo de trabajo menor el voltaje. Se entiende por ciclo de trabajo la relación entre el tiempo en alto y el periodo total ($D = T_H / T_T$).

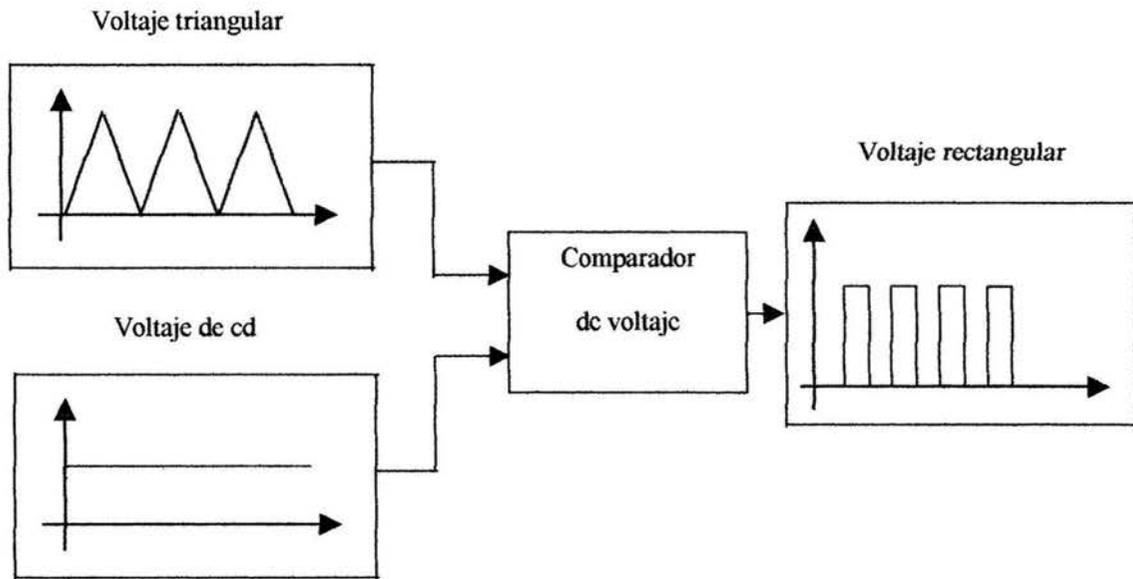


Fig. 3-5 Diagrama a bloques del control PWM.

El voltaje triangular es generado por dos operacionales conectados como un oscilador, donde uno de ellos integra la señal rectangular generada por el otro, obteniendo de esta manera el voltaje triangular. La figura 3-6 muestra el circuito del generador de voltaje triangular.

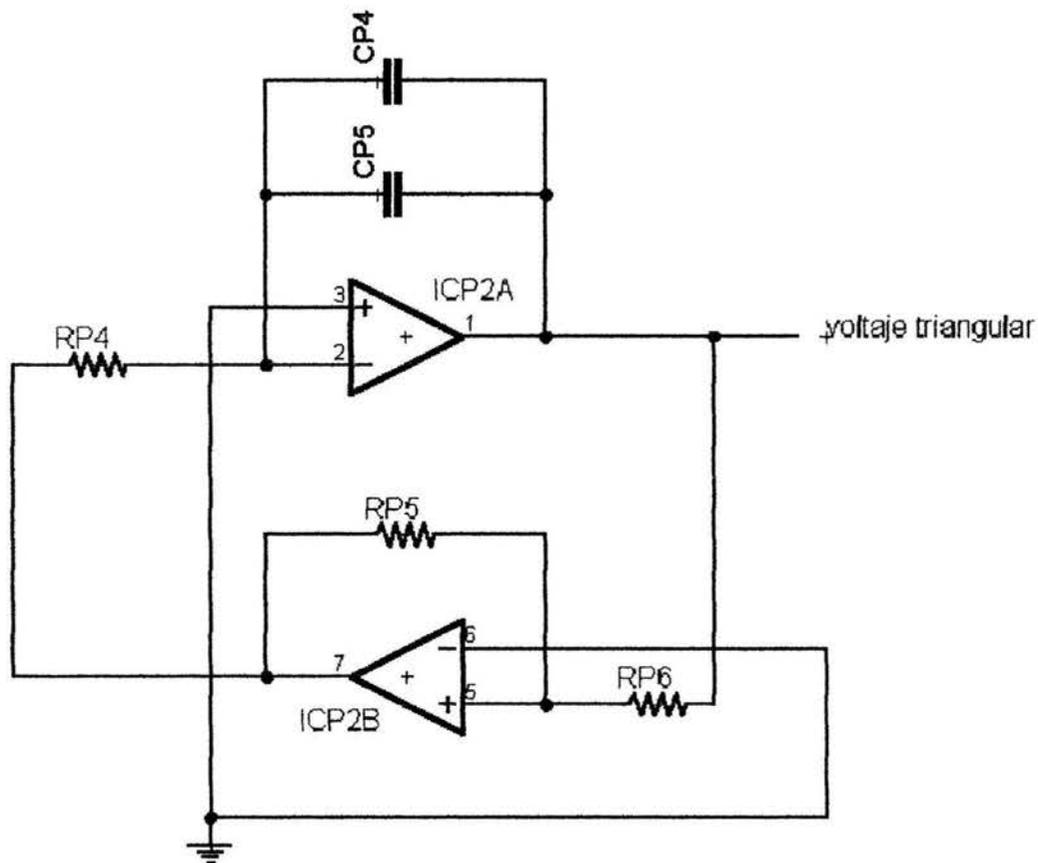


Fig. 3-6 Diagrama del generador de voltaje triangular.

La frecuencia de oscilación del circuito anterior se obtuvo experimentalmente quedando en un valor de 30Hz, con este valor se diseñaron los valores correspondientes de los resistores y capacitores.

A la señal de voltaje de onda triangular se le sumó un nivel de cd variable con el propósito de ajustar la velocidad mínima en el motor además de agregar un circuito que lleva paulatinamente el voltaje rectangular a un ciclo de trabajo cero cada vez que la tapa de la incubadora se abra, llevando el voltaje de alimentación del motor a cero por lo que la plataforma se detiene. Una vez que la puerta se cierra, le velocidad del motor se va recuperando poco a poco hasta llegar a la velocidad seleccionada.

III.2.2 circuito de potencia.

El circuito de potencia está conformado por dos transistores npn en configuración darlington, con el motor conectado en el colector. El transistor utilizado es el TIP41C el cual tiene un voltaje de saturación de 1.5 V a 6 A de corriente continua, lo que quiere decir que para la corriente máxima de trabajo del motor que es de 6 A (valor que como vimos en el capítulo anterior, nunca es alcanzado), el transistor la soportaría sin problemas.

El transistor utilizado como driver es el BC547C, transistor de señal pequeña de propósito general que tiene una beta típica de 500. Como la beta promedio del TIP41C es de 30, la beta total de la configuración darlington es de:

$$\beta = 30 \times 500$$

$$\beta = 15000$$

Por lo que la corriente requerida en la base para una corriente de colector de 6 amperes como máximo es:

$$I_b = 6/15000$$

$$I_b = 0.4 \text{ mA}$$

Corriente que el operacional puede entregar también sin problemas.

El circuito de potencia se muestra en la figura 3-7 junto con el diagrama del control de velocidad:

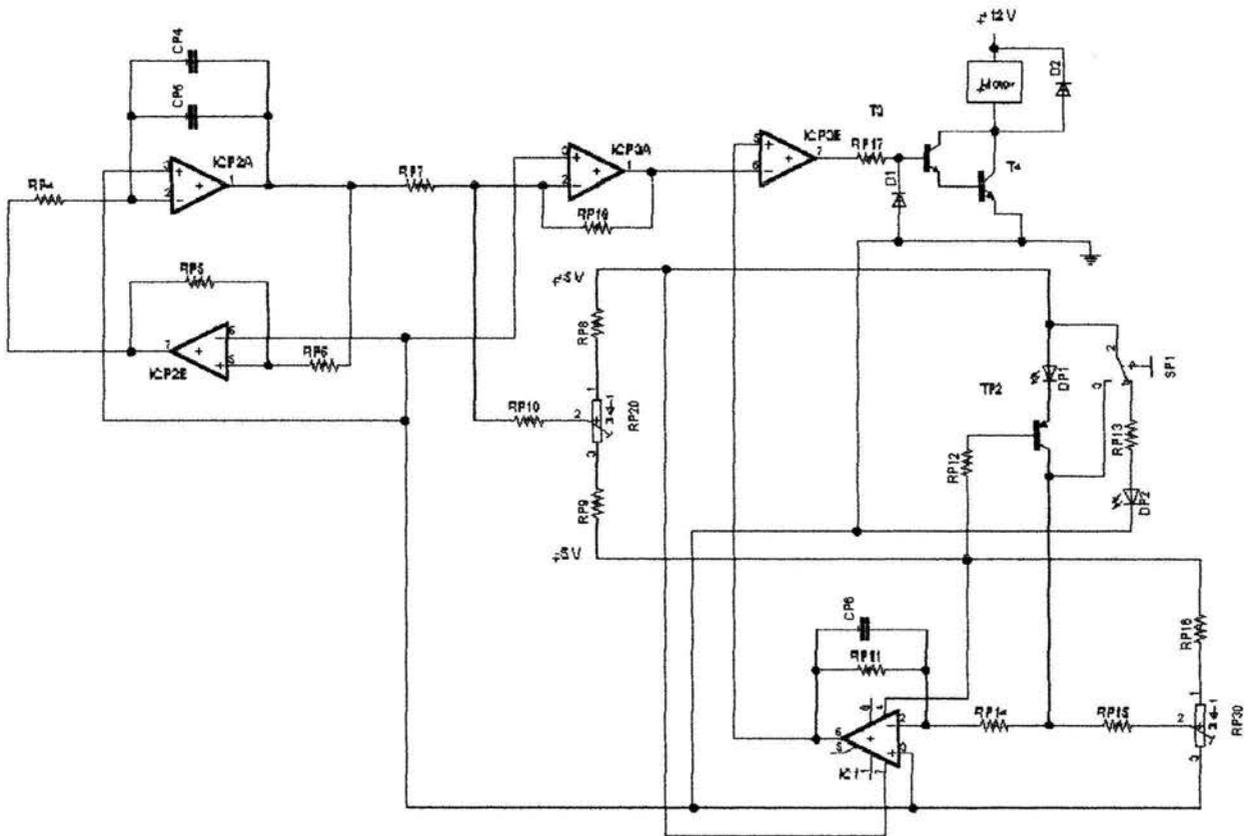


Fig. 3-7 Circuito completo del control de velocidad.

Los diodos D1 y D2 son utilizados para proteger a los transistores, D1 protege a T3 del voltaje negativo en la base y D2 protege a T4 del alto voltaje generado de colector a emisor debido a la carga inductiva que representa el motor.

III.2.3 Convertidor digital analógico.

El convertidor digital analógico es utilizado para monitorear la velocidad de la plataforma, para lo cual, se tiene acoplado a la patea de la plataforma un disco con franjas radiales oscuras y transparentes que con ayuda de un optointerruptor y un comparador con histéresis se genera una señal cuadrada cuya frecuencia es proporcional a la velocidad de la plataforma.

En la figura 3-8 tenemos una fotografía donde podemos observar el disco acoplado a la polea de la plataforma así como el optointerruptor.

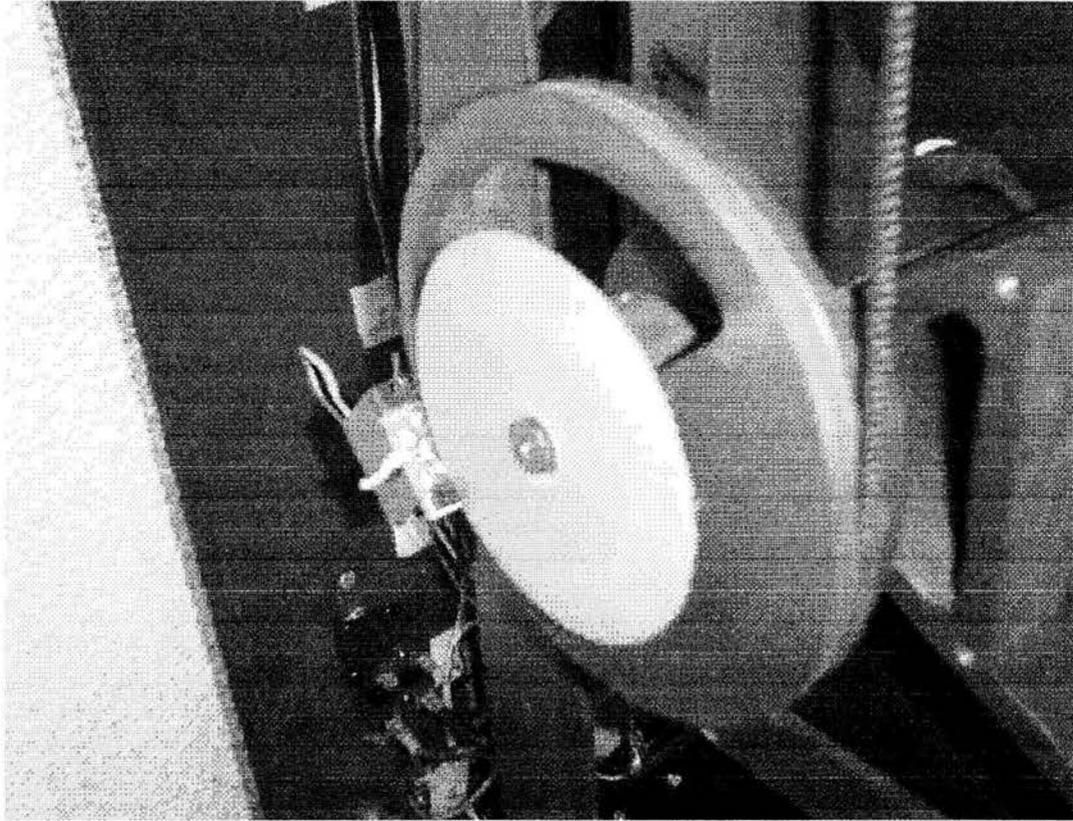


Fig. 3-8 Vista de la polea de la plataforma con el disco acoplado y el optointerruptor.

Los pulsos provenientes del comparador son utilizados para disparar un circuito integrado temporizador LM555 cableado como un monostable, con el que obtenemos una señal cuadrada de ciclo de trabajo variable según la velocidad del motor. Un circuito monostable es aquel que por medio de un pulso de disparo obtenemos un pulso de duración determinada por un capacitor y una resistencia. La señal cuadrada se ingresa a un circuito integrador formado por un transistor con un filtro paso-bajas de cuarto orden, en este circuito podemos ajustar la ganancia del nivel de cd que se obtiene al final del filtro paso-bajas. Finalmente el voltaje de cd se aplica a un convertidor analógico-digital para mostrar la velocidad de la plataforma en un display de cristal líquido de 3 ½ dígitos.

A continuación en la figura 3-9 mostramos el diagrama del convertidor digital analógico junto con el circuito integrador:

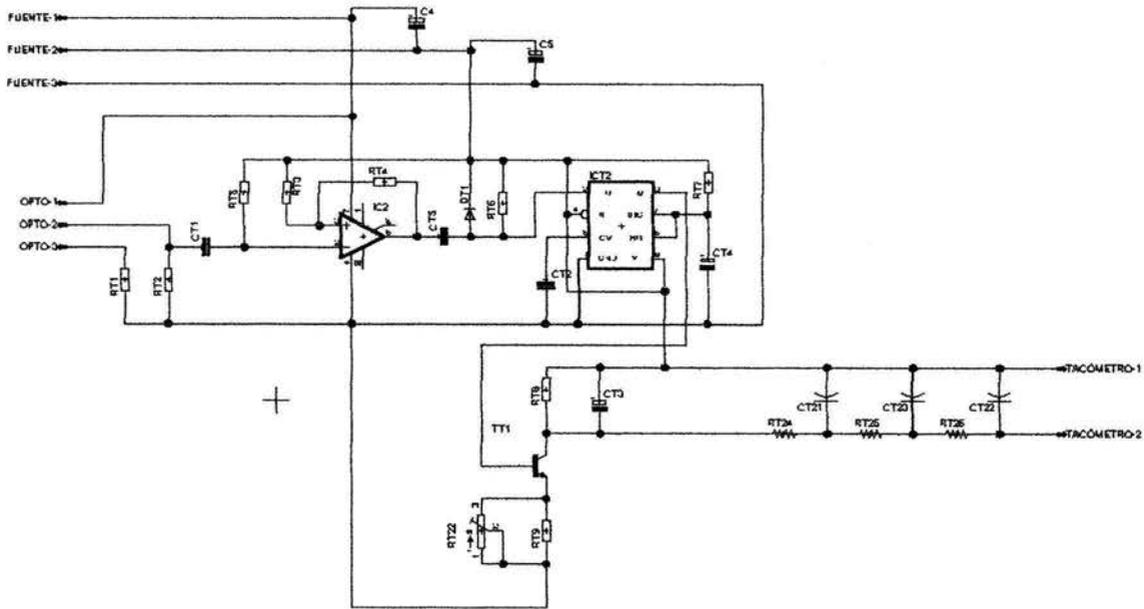


Fig. 3-9 Convertidor digital-analógico.

La escala del display se encuentra fija en 2000 mV. Finalmente el circuito integrador se ajusta para obtener un voltaje de 1mV por cada rpm de la plataforma.

La incubadora cuenta con un interruptor que selecciona el modo de operación de la plataforma: cuando el interruptor se encuentra en la posición "permanente", la plataforma está en movimiento continuo, y cuando el interruptor se encuentra en la posición "auto", la plataforma estará en movimiento durante un tiempo que el usuario puede seleccionar entre 0 y 60 minutos, simplemente girando la perilla del reloj hasta la posición del tiempo deseado. Una vez transcurrido el tiempo programado, la plataforma se detiene.

Capítulo IV. Fuentes de alimentación.

Las fuentes de alimentación fueron diseñadas de acuerdo al consumo de potencia de cada uno de los circuitos.

IV.1 Fuente de alimentación para los displays.

El circuito integrado que utilizaremos para mostrar las lecturas es el ICL7106 (3 ½ dígitos) el cual maneja un desplegado de cristal líquido, con un consumo total de 0.7mA a 9V, actualmente podemos disponer del paquete completo (circuito integrado y pantalla de cristal líquido) en los multímetros digitales que además de ahorrarnos el trabajo de armar el circuito, resulta mucho más barato. Puesto que los multímetros requieren una alimentación flotada e independiente uno del otro, utilizamos un transformador con un primario y dos secundarios independientes, de 127 VAC a 2 x 6 VAC, que rectificamos y filtramos nos dan un voltaje de $6 \times \sqrt{2} = 8.48V$, que por medio de un doblador de voltaje y un regulador proporciona la alimentación para cada multímetro. La figura 4-1 muestra los circuitos dobladores de voltaje:

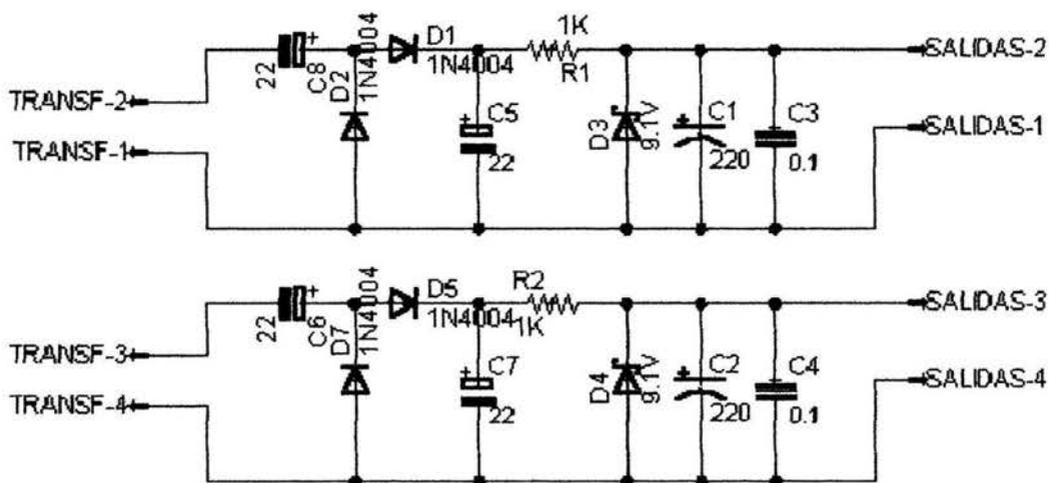


Fig. 4-1 circuitos dobladores de voltaje.

Con el circuito anterior obtenemos un voltaje de 9V a 10mA aproximadamente, suficiente para alimentar a los displays.

IV.1.1 Funcionamiento del circuito doblador de voltaje.

Para facilitar la explicación del funcionamiento, vamos a considerar que todos los capacitores están descargados y tomando en cuenta uno de los diagramas. En el primer semiciclo positivo del voltaje de entrada, la corriente circula por los capacitores C8, el diodo D1 y el capacitor C5, el diodo D2 se encuentra en inversa, con lo que los capacitores forman un divisor de voltaje, quedando cargados a $\frac{1}{2}V_p$ (Fig. 4-2).

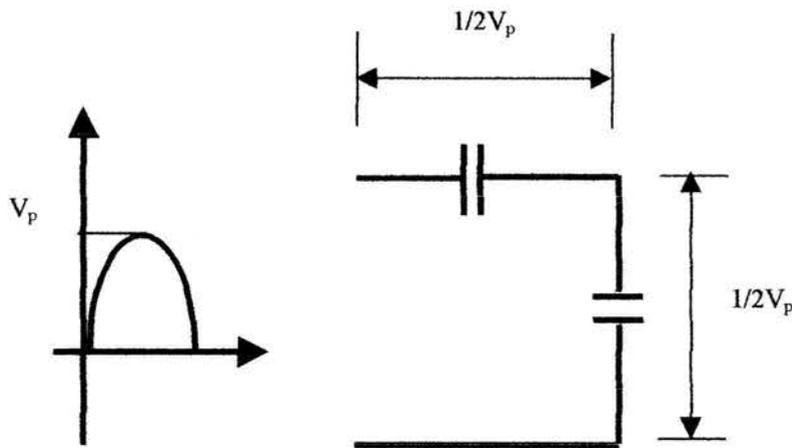


Fig.4-2 primer semiciclo positivo del voltaje de entrada.

Para el primer semiciclo negativo, el diodo D1 está en inversa mientras que el diodo D2 está en directa, por lo que el capacitor C8 cambia su voltaje de $\frac{1}{2}V_p$ a $-V_p$ (Fig. 4-3):

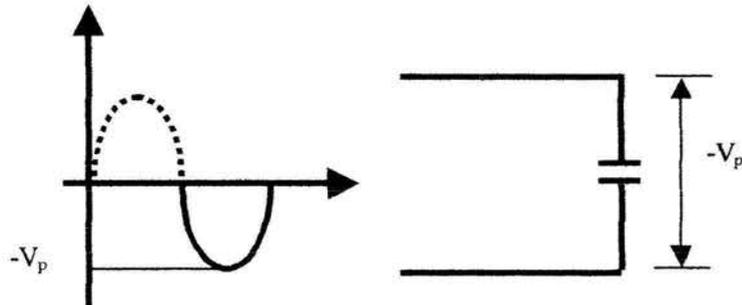


Fig. 4-3 primer semiciclo negativo del voltaje de entrada.

Para el segundo semiciclo positivo, D2 está en inversa y D1 está en directa, observamos que el voltaje de entrada se suma con el voltaje del capacitor C8, por lo que el capacitor C5 se carga a $2V_p$, y a partir de aquí, el voltaje en C8 se mantiene con un valor de V_p y la misma polaridad (Fig. 4-4).

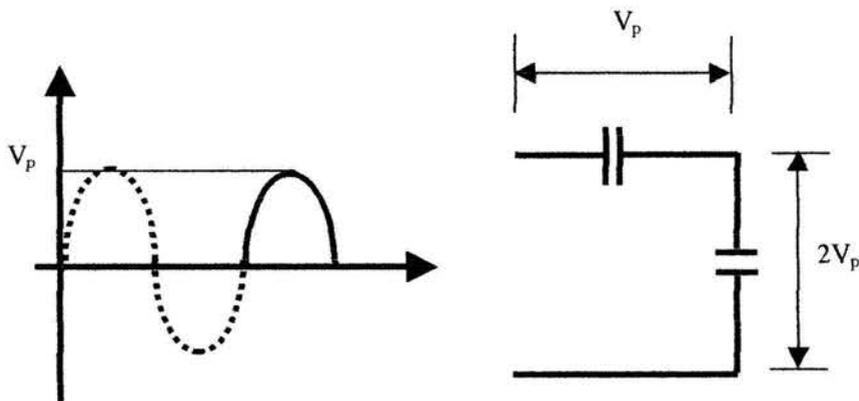


Fig.4-4 segundo semiciclo positivo del voltaje de entrada.

Puesto que el valor de $2V_p$ es de 16.5 voltios, por medio de R1 (resistencia de $1K\Omega$) y el diodo D3 (zener de 9.1V a $\frac{1}{2}$ W), estabilizamos el voltaje al voltaje zener igual a 9.1[V], con el capacitor C1 (220uF) eliminamos el voltaje de rizo, y con C3 (0.1uF) mandamos a tierra las componentes de alta frecuencia que pudieran existir, y así es como obtenemos los voltajes de 9V para alimentar a los displays.

IV.2 Fuente de alimentación del motor.

De las pruebas realizadas al sistema mecánico, obtuvimos que el motor consume alrededor de 1.1A a 12V sin peso en la plataforma, llegando a aproximadamente 1.5 A con un peso de 15Kg, por lo que proponemos que la corriente de la fuente de alimentación debe ser de 3A como mínimo para que pueda cubrir la demanda de corriente. Es importante señalar que el transformador debe trabajar de manera normal por debajo del 50% de su capacidad, esto con la finalidad de que su vida útil se vea prolongada.

Como el consumo de corriente en el motor, en condiciones normales es de 1.4A aproximadamente, pudiendo llegar hasta 5A en condiciones demasiado críticas como un bloqueo del motor, optamos por un transformador de 24V a 5ª con tap central. Intercalamos un fusible de 5A entre el motor y la fuente para evitar completamente la posibilidad de que la fuente se vea dañada por ésta condición crítica.

Para obtener la señal de cd implementamos un rectificador de onda completa con dos diodos y un capacitor de 3300uF. El diagrama completo se muestra en la figura 4-5:

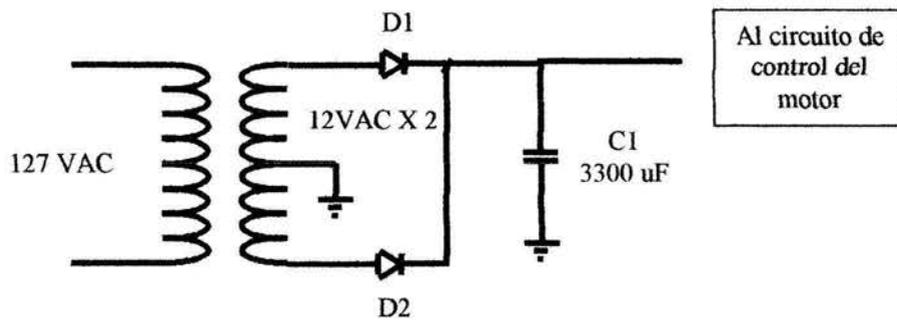


Fig.4-5 rectificador de onda completa con tap central.

IV.2.1 Funcionamiento del circuito rectificador.

En el semiciclo positivo de la señal de entrada, la corriente circula por D1 hacia C, D2 se encuentra en inversa; en el semiciclo negativo, la corriente circula por D2 hacia C, D1 ahora se encuentra en inversa, y así sucesivamente. El capacitor se carga a 16V y es utilizado para mantener al máximo el nivel de c.d. con un mínimo de rizo.

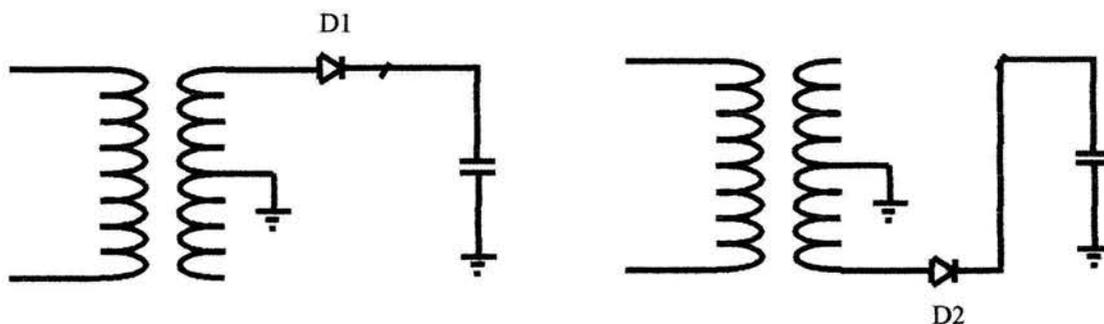


Fig.4-6 circuito equivalente para cada semiciclo de señal de entrada.

IV.3 Fuente de alimentación para el circuito de control.

La fuente de voltaje está formada por los siguientes bloques: 1) Rectificador de onda completa, 2) Filtro y 3) Reguladores de voltaje. Puesto que el consumo promedio del circuito completo se encuentra alrededor de 350mA, utilizamos un transformador con derivación central en el devanado secundario, de 18V a 1A, el diagrama completo se muestra en la figura 4-7:

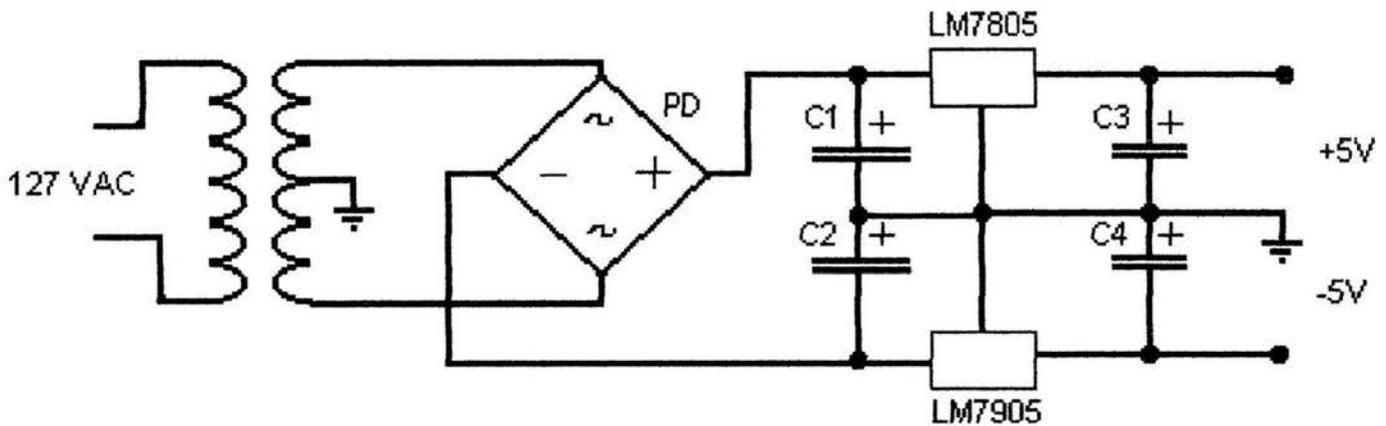


Fig. 4-7 Fuente de voltaje bipolar.

IV.3.1 Funcionamiento del circuito.

La señal de voltaje del secundario del transformador es rectificada por el puente de diodos PD con lo que se obtiene una señal pulsante de amplitud V_p (25V) como se muestra en la figura 4-8:

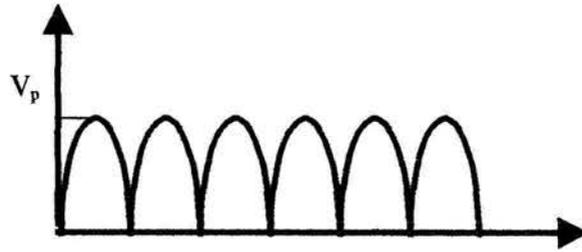


Fig. 4-8 Voltaje rectificado.

Con ayuda de los capacitores C1 y C2 hacemos que esta señal pulsante se convierta en una señal de DC como muestra la figura 4-9.

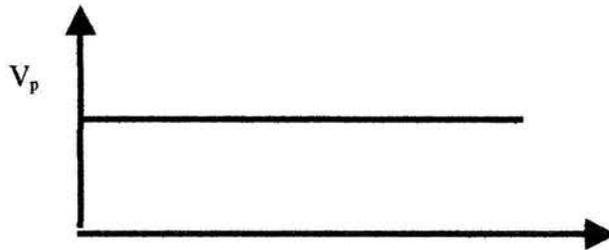


Fig. 4-9 Voltaje rectificado y filtrado.

De la figura 4-7 podemos observar que estamos tomando la tierra del tap central del transformador, por lo que el voltaje total lo estamos dividiendo en dos voltajes uno positivo y otro negativo (+12.7 y -12.7V), estos voltajes los estabilizamos con dos circuito integrados reguladores a +5 y -5V.

Finalmente a los reguladores de voltaje les colocamos un disipador de calor para que funcionen adecuadamente.

Capítulo V. Circuitos impresos y distribución de elementos.

V.1 Generando los esquemáticos.

Existen varios programas que están diseñados especialmente para generar circuitos impresos. Nosotros utilizaremos el programa llamado Eagle (versión 4.01); se optó por éste programa porque es fácil de utilizar, además de que la librería de componentes es bastante amplia.

Lo primero que debemos hacer es generar el esquemático de cada uno de los circuitos. En las figuras 5-1 y 5-2 podemos observar los esquemáticos finales correspondientes a cada uno de los circuitos:

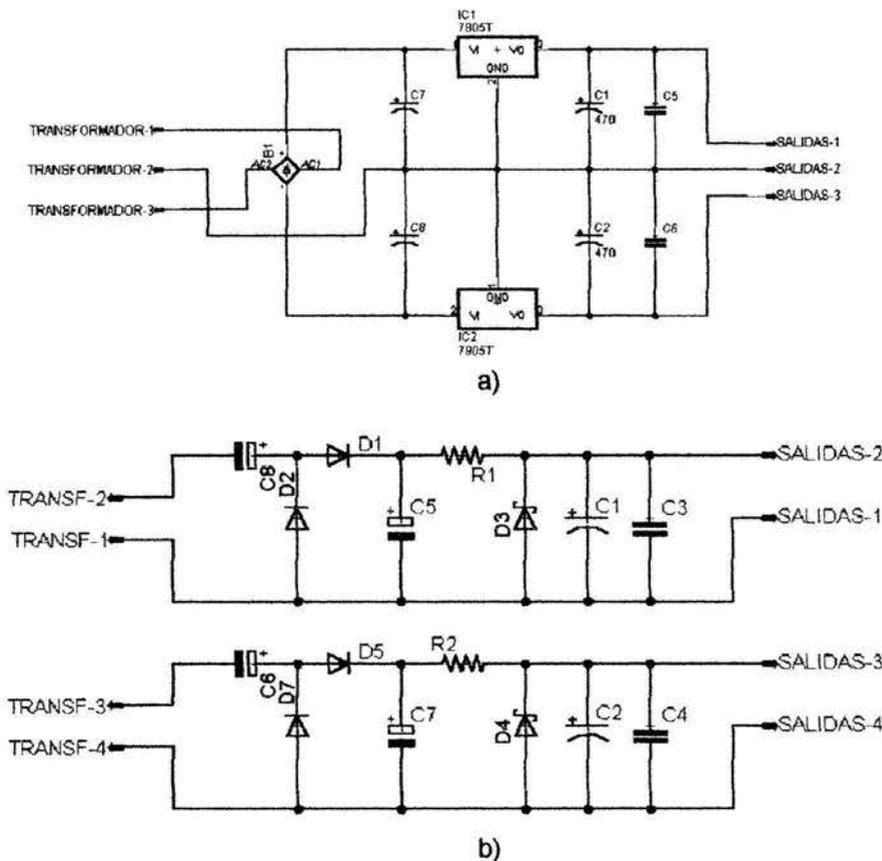


Fig. 5-1 a)Fuente bipolar b)Fuente para los displays

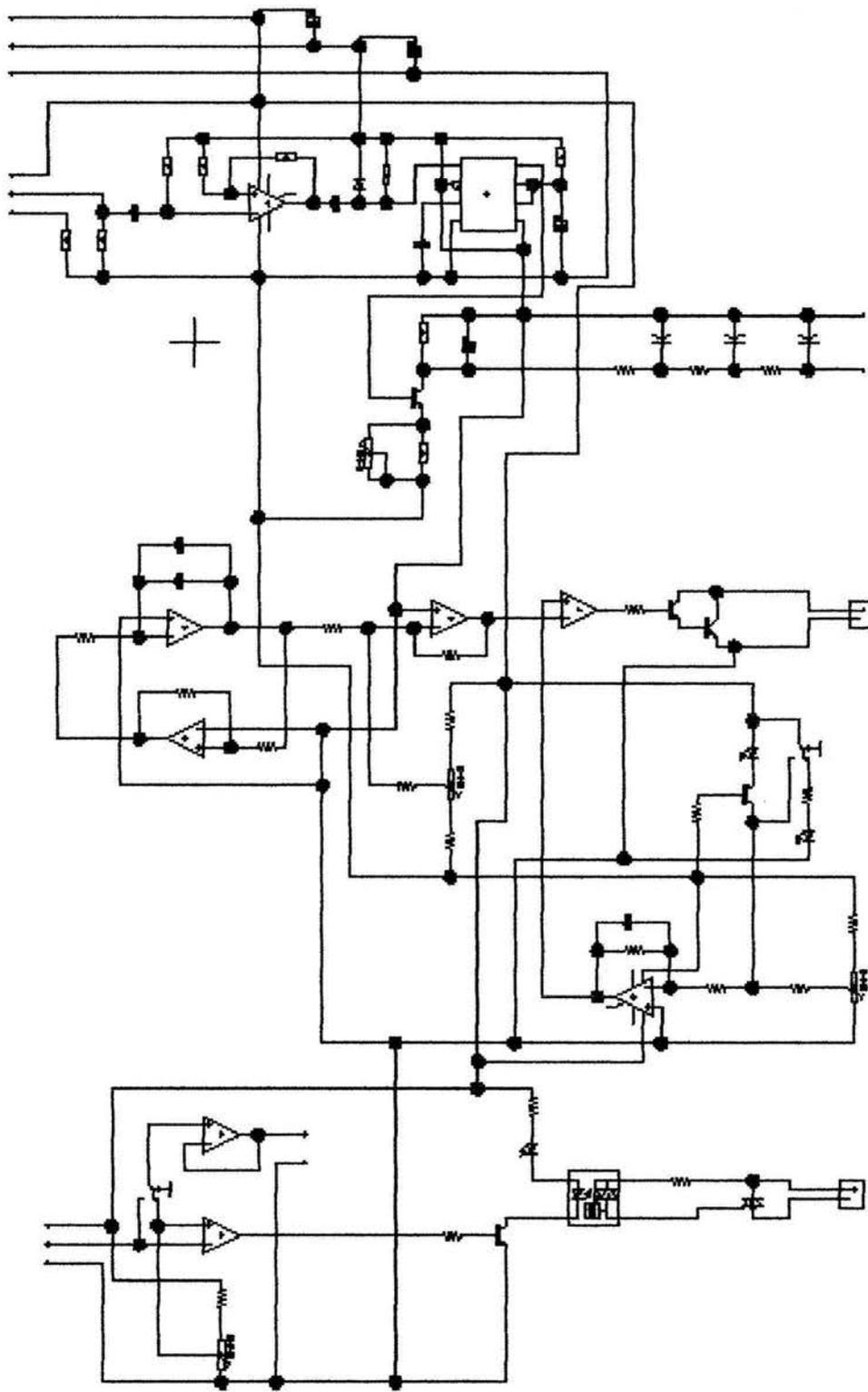


Fig. 5-2 Circuito de control.

Una vez que se tiene capturado el diagrama, procedemos a diseñar el circuito impreso. Los pasos que se seguirán para el diseño son los siguientes:

- 1) Debemos colocar los componentes por bloques: Control de temperatura, control PWM, tacómetro y fuente bipolar.
- 2) Los elementos que van a disipar calor deben quedar en un lado de la placa para que el calor generado por ellos afecte en lo mínimo a los componentes aledaños. Damos una disposición tal que los componentes queden colocados según las conexiones entre ellos, para que las pistas sean lo mas cortas posibles. Los elementos de ajuste como son los potenciómetros deben quedar en un lugar de fácil acceso para poder realizar fácilmente los ajustes necesarios.
- 3) Finalmente los elementos deben quedar alineados para una fácil identificación, además de que con esto damos cierta estética al circuito final.

En la figura 5-3 y 5-4 podemos observar los componentes y las conexiones virtuales antes de generar las pistas:

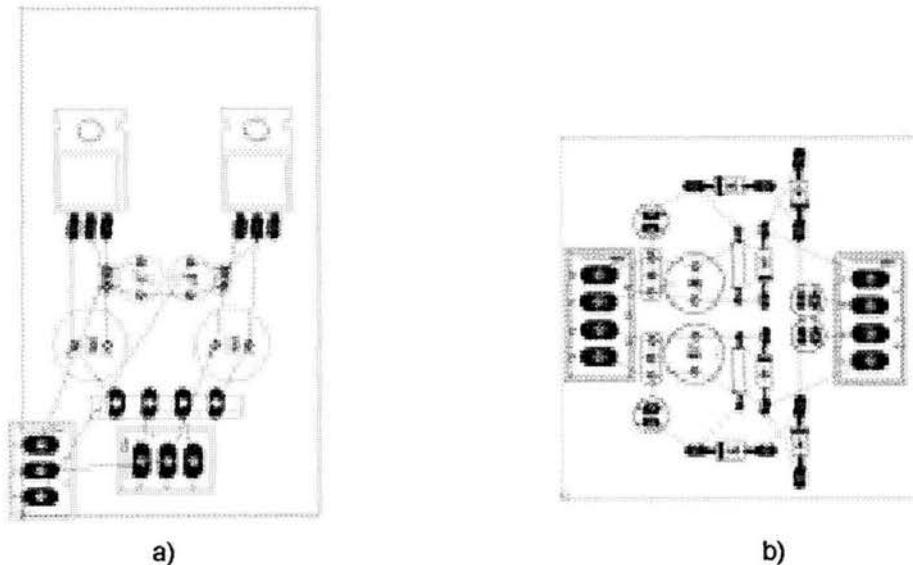


Fig. 5-3 a)Fuente bipolar c) Fuente para los displays

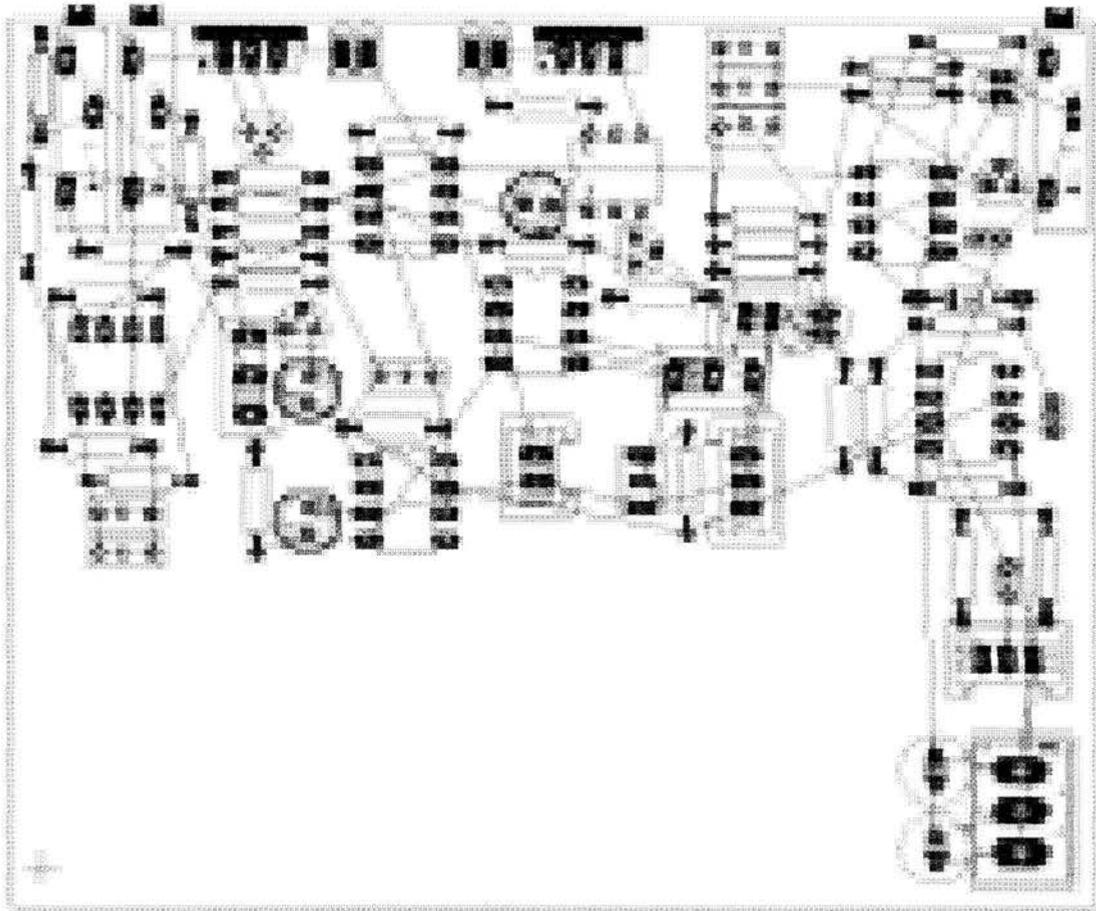
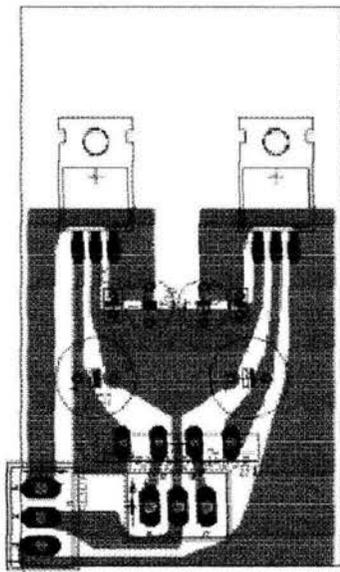


Fig. 5-4 Circuito de control.

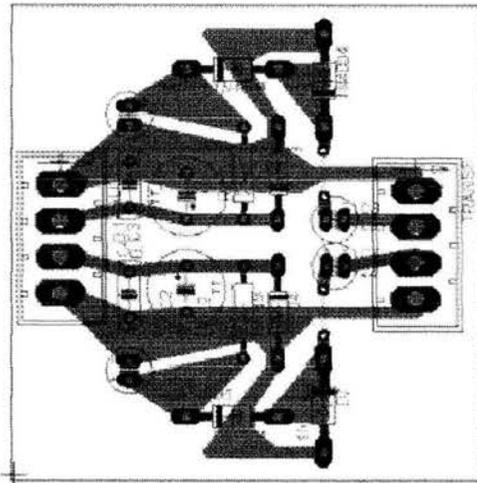
V.2 Generando las pistas.

Ahora, procedemos a generar las pistas. Empezamos por las líneas de alimentación $V+$, $V-$ y GND, las cuales deben ser gruesas para evitar que los voltajes sufran variaciones debidas al consumo de corriente de los componentes.

Enseguida generamos las pistas que tienen que ver con señales de entrada y salida y al final dejamos todas las demás. La figura 5-5 muestra como quedaron las pistas.



a)



b)

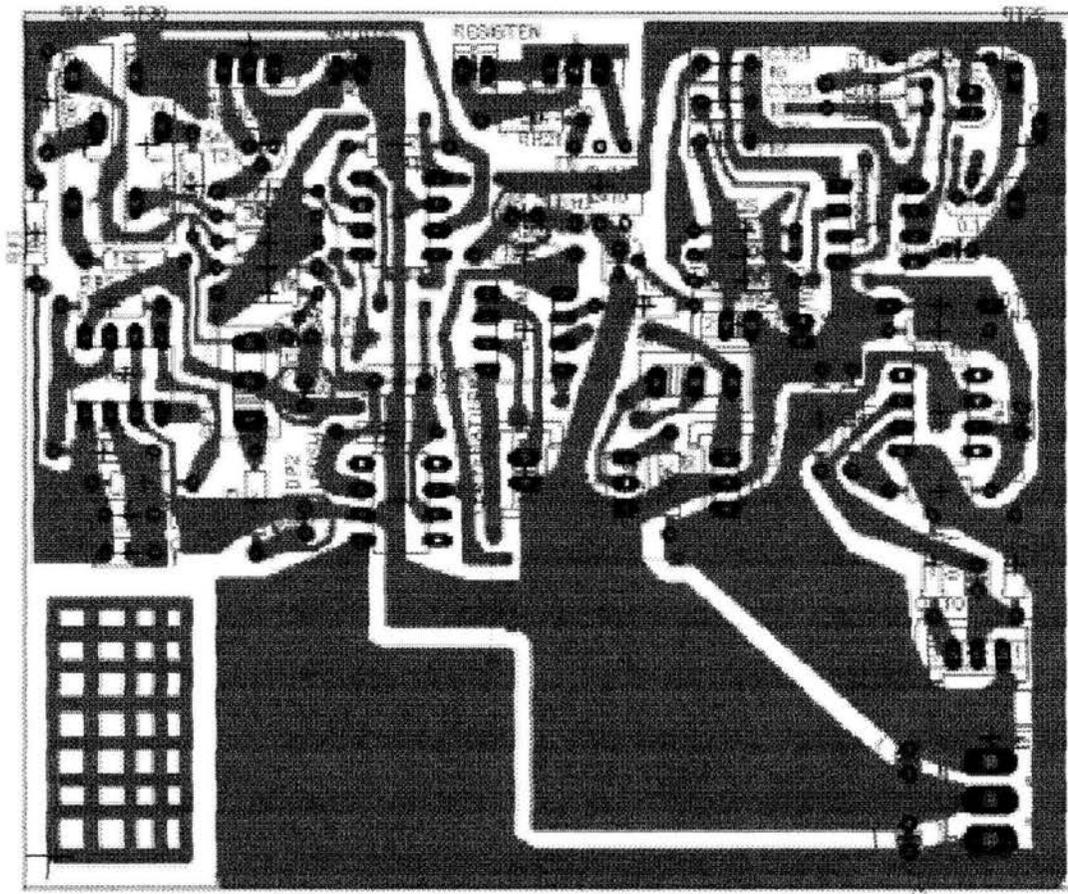


Fig. 5-5 a)Fuente bipolar b) Fuente para los displays c)Circuito de control

V.3 Transfiriendo el diseño de los impresos.

Una vez que se tiene el diseño del circuito impreso, procedemos a transferirlo a la placa fenólica la cual preparamos previamente lavándola con agua, jabón y una fibra delgada. Para poder transferir el dibujo, utilizamos una impresora laser y unas hojas especiales que se conocen como "compucircuit", estas hojas tienen en una de sus caras un recubrimiento especial que permite que el toner depositado en ella se desprenda fácilmente. Por medio de calor (utilizando una plancha), se transfiera el diseño del impreso sobre la cara de cobre de la placa fenólica.

Como el circuito de la fuente del motor es muy sencillo, utilizamos solamente un plumón de tinta indeleble para dibujar las pistas, quedando de la siguiente manera (Figura 5-6):

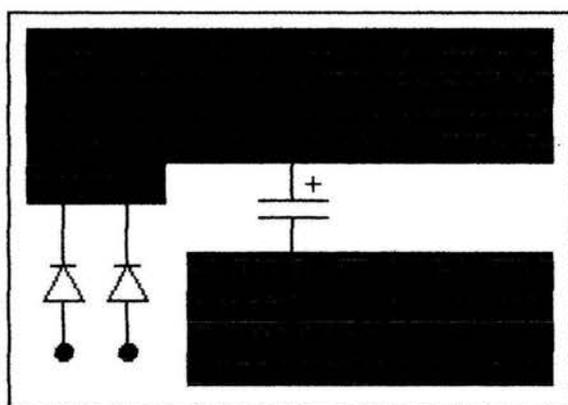


Fig. 5-6 Fuente de poder del motor.

V.4 Obteniendo los impresos.

Enseguida, sumergimos las placas fenólicas en cloruro férrico diluido, para que el cobre que no quedó cubierto con el toner, se disuelva dejando solamente las partes de cobre que si quedaron cubiertas. Después, lavamos la placa con agua para eliminar los residuos de sal y evitar que se siga corroyendo el cobre, luego con un algodón impregnado de alcohol, eliminamos el toner de la superficie de la

placa fenólica; ahora con ayuda de un taladro y una broca de 1/64 de pulgada, perforamos los orificios por donde van a pasar las terminales de los componentes hacia el lado de pistas de la placa. Colocamos y soldamos los componentes, comenzando por los más pequeños (resistencias, diodos, integrados) y terminamos con los componentes más grandes (capacitores electrolíticos, transistores de potencia, reguladores), después soldamos todos los cables; debemos procurar no utilizar demasiada pasta, puesto que es corrosiva y conductora, si quedase algún residuo de pasta debe eliminarse con algodón y alcohol. Finalmente cubrimos las pistas con una película plástica en aerosol para que el cobre no se oxide por acción del aire ambiente.

Aquí tenemos una foto de como quedaron las placas ya montadas dentro la incubadora (Figura 5-7):

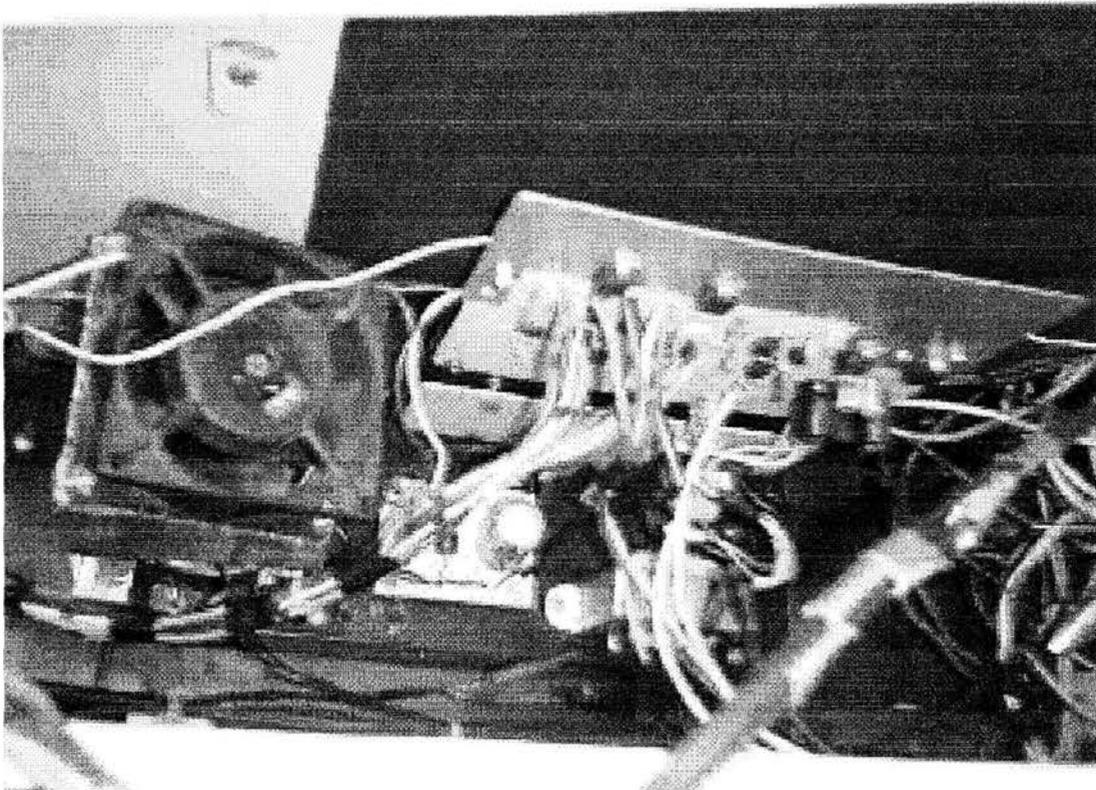


Fig. 5-7 Circuitos dentro de la incubadora.

Podemos apreciar que los elementos que disipan calor están en la parte superior, montados sobre un pequeño disipador de calor, por lo que el calor generado por estos dispositivos afecta de manera mínima a los componentes principales del circuito de control.

Capítulo VI. Carátula.

En la realización de la carátula nos concentramos principalmente en tres puntos, a) Número mínimo de controles, b) Fácil acceso y manipulación de los mismos y c) Resistencia a derrames accidentales de líquidos sobre la carátula.

- Número mínimo de controles: un número excesivo de controles provocaría que la persona que manipula los controles, desviara su atención de las investigaciones que lleva a cabo, por lo que se buscó que la utilización de la incubadora fuese lo mas sencilla posible.

- Fácil acceso y manipulación de los controles: los controles y los desplegados se dispusieron de tal manera que cuando se esté realizando algún ajuste de la temperatura de la cámara o de la velocidad de la plataforma, no se pierda de vista la lectura del desplegado.

- Resistencia a derrames accidentales de líquidos sobre la carátula: una vez que se terminó el diseño de la carátula, se cubrió con una película plástica, además de que la posición de la carátula tiene una inclinación para facilitar el escurrimiento y la limpieza de cualquier líquido.

La disposición de los controles, los elementos de aviso y desplegados, se agruparon por módulos, los cuales son:

- Interruptor principal
- Velocidad de la plataforma
- Control de temperatura

Para el diseño de la carátula se utilizó el programa de computadora llamado Corel Draw 10, el cual tiene un ambiente de trabajo bastante amigable. El diseño final se muestra en la figura 6-1:

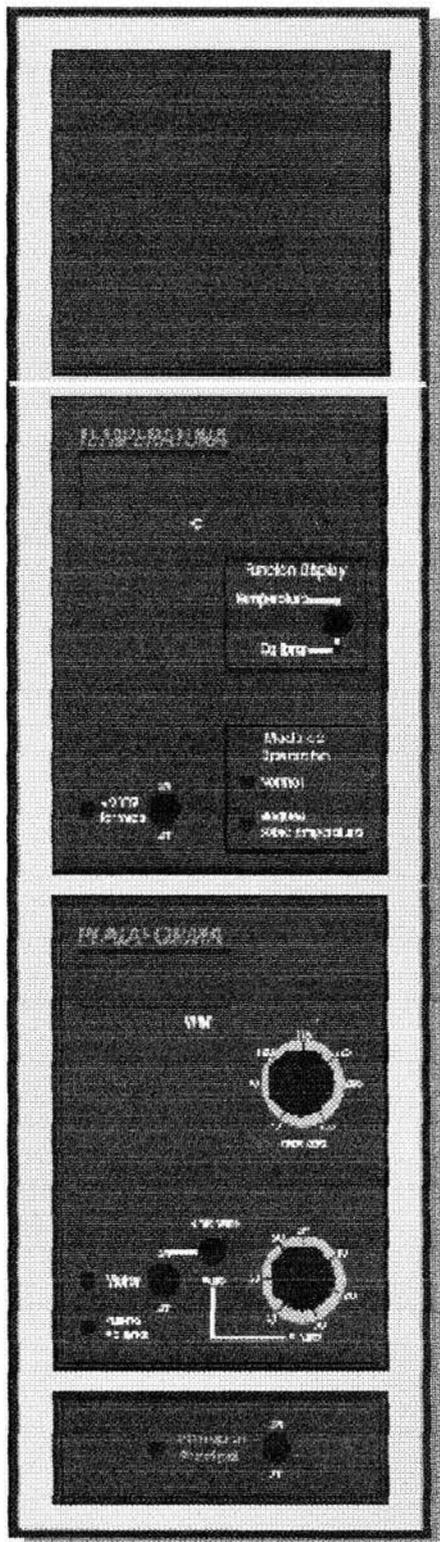


Fig. 6-1 Carátula.

El funcionamiento detallado de cada uno de los módulos se explicará en el capítulo siguiente.

Otro de los aspectos que se tomó en cuenta fue en cuanto al mantenimiento de la incubadora. Puesto que la cantidad de cables que van interconectados entre la carátula y los circuitos impresos es considerable, dichos cables se agruparon, además de que tienen una longitud suficiente para poder desmontar la carátula y colocarla a un lado de la incubadora, facilitando de esta manera los ajustes en los potenciómetros instalados sobre los impresos.

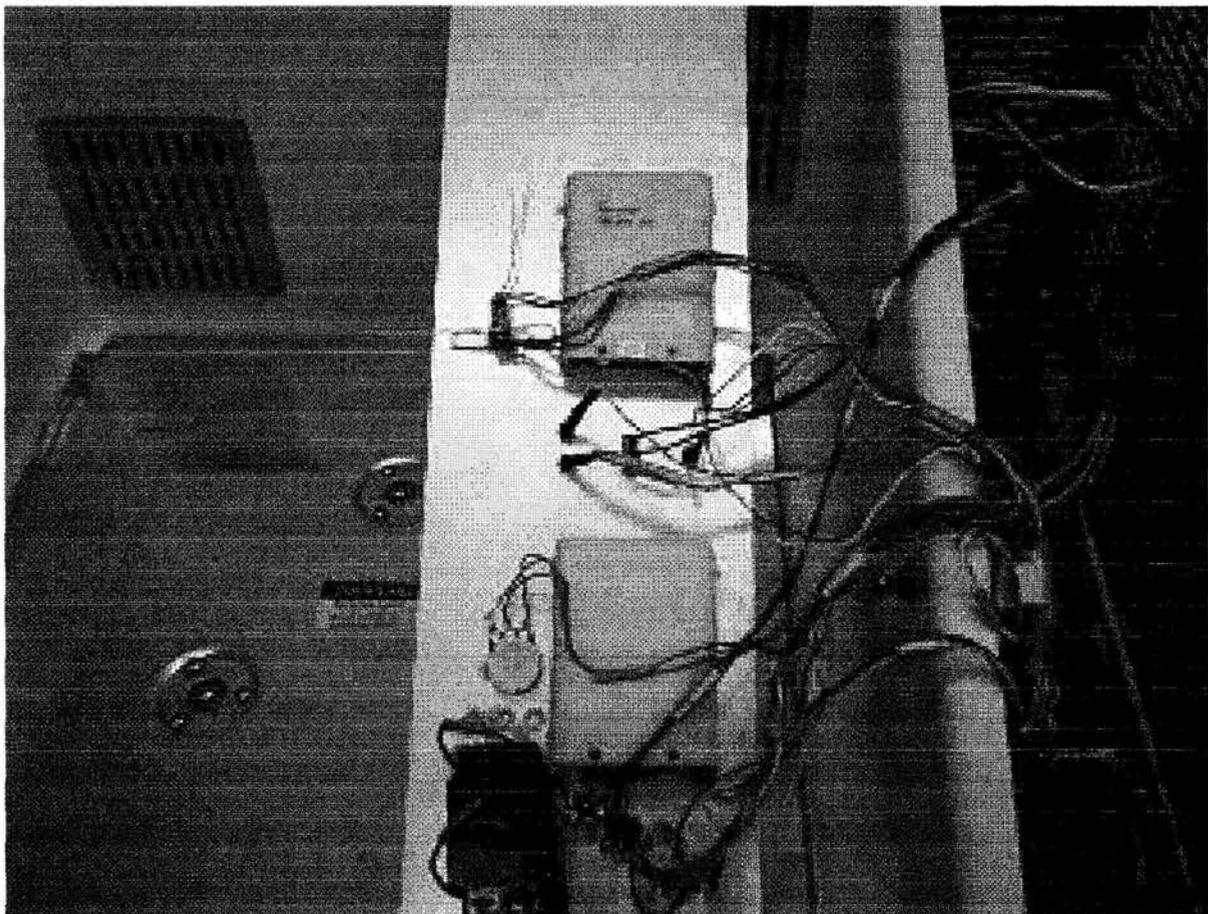


Fig. 6-2 Carátula desmontada

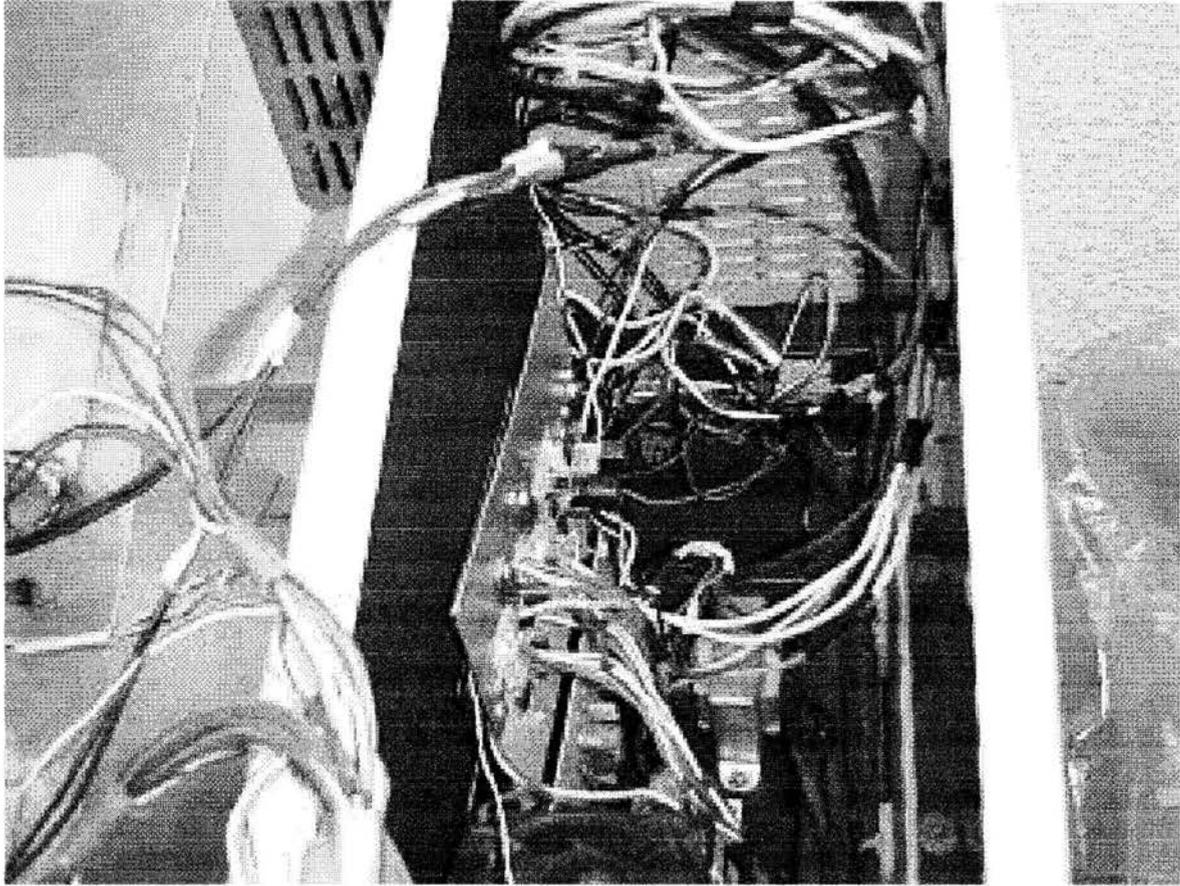


Fig. 6-3 Interior de la incubadora

En la figura 6-2 se observa una fotografía donde podemos observar la facilidad con la cual se puede manipular la carátula, agilizando el mantenimiento en el interior de la incubadora. La figura 6-3 muestra la fotografía donde se puede ver que al desmontar la carátula y gracias a la longitud de los cables, podemos tener un buen acceso a los potenciómetros de ajuste y en general a todos los circuitos impresos.

Capítulo VII. Instrucciones de uso.

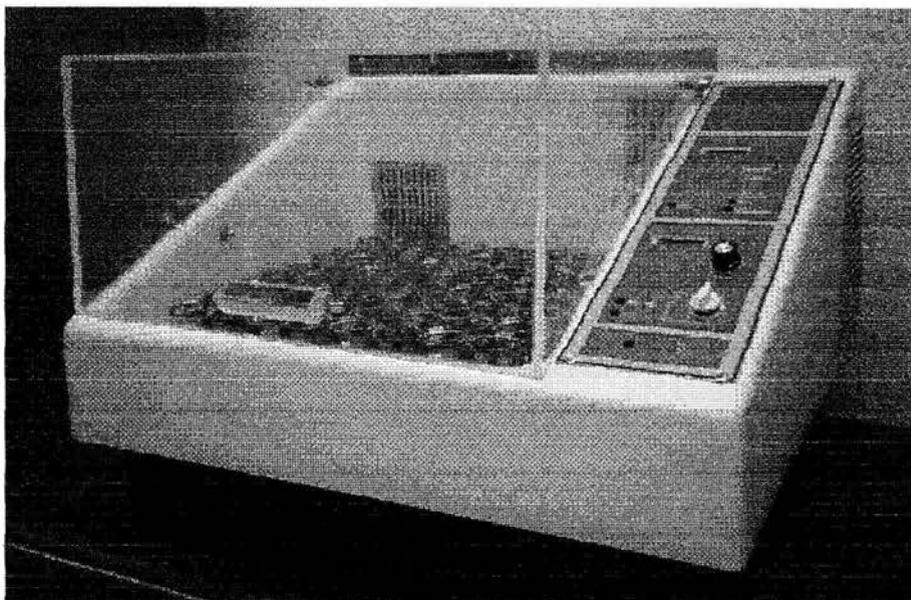


Fig. 7-1 Incubadora orbital.

VII.1 Interruptor principal.

El interruptor principal es el que enciende todo el sistema, cuenta con un foco que indica que la incubadora está en funcionamiento.



Fig. 7-2 Interruptor principal.

Si se coloca el interruptor por primera vez en la posición "ON", y el foco enciende, pero tanto el desplegado de velocidad de plataforma y de temperatura se encuentran apagados, significa que el control de seguridad contra altas temperaturas se encuentra activado, en tal caso y con ayuda de un desarmador plano, se debe girar lentamente el tornillo de ajuste en sentido horario hasta que el sistema encienda.

El ajuste de éste sistema de seguridad se explicará en el punto VII.3

VII.2 Plataforma.

En esta parte del tablero se encuentra el control de velocidad y modo de operación de la plataforma.

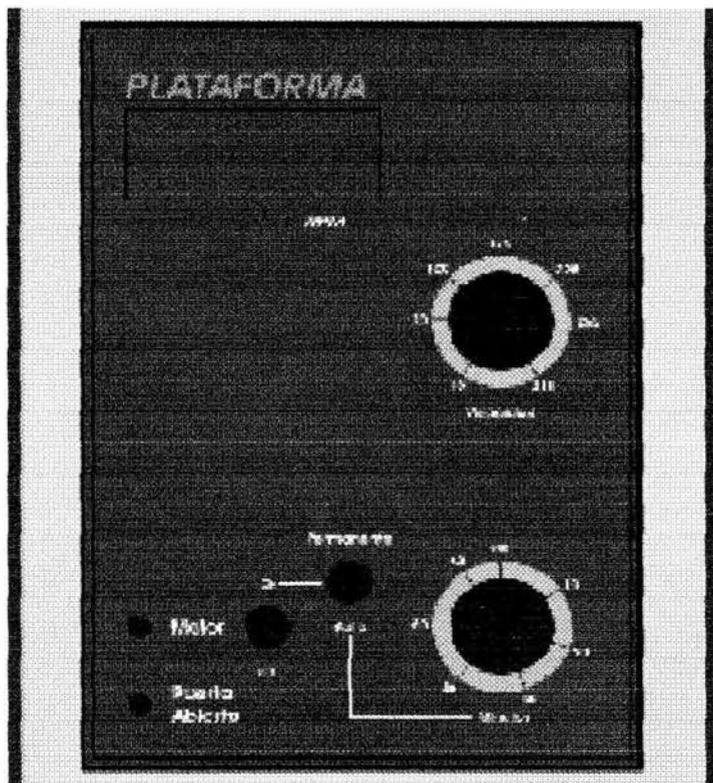


Fig. 7-3 Control de la plataforma.

El interruptor del motor activa o desactiva el movimiento de la plataforma sin importar en que posición se encuentren los demás controles (Velocidad, Minutos e interruptor Permanente-Auto).

Si el interruptor está en la posición "OFF", la plataforma estará inactiva y el desplegado de velocidad marcará ceros.

Para que la plataforma comience a funcionar, mueva el interruptor a la posición "ON", si no presenta movimiento significa que el interruptor "Permanente-Auto" se encuentra en la posición "Auto" y la perilla "Minutos" está en la posición "OFF", en éste caso girar dicha perilla hasta la posición de tiempo durante el cual se desea que la plataforma se mantenga funcionando.

Para que el movimiento de la plataforma sea constante, esto es, que se mantenga activa todo el tiempo (mientras el interruptor principal esté en "ON"), colocar el interruptor "Permanente-Auto" en la posición "permanente".

En el caso de que la plataforma esté en movimiento y la puerta de la incubadora se abra, (ya sea para colocar las muestras o para extraer alguna de ellas), dicho movimiento será interrumpido automáticamente; la indicación de velocidad se mantiene igual y el foco de "Puerta Abierta" encenderá.

Una vez que el usuario termina de manipular las muestras y cierre la puerta, el movimiento de la plataforma comenzará lentamente hasta estabilizarse la velocidad.

Para escoger la velocidad de la plataforma, simplemente gire la perilla indicada con "velocidad" hasta las rpm deseadas.

VII.3 Temperatura.

Antes de escoger la temperatura a la cual se quiere que se establezca el interior de la incubadora, es necesario calibrar el control de seguridad contra altas temperaturas de la siguiente manera:

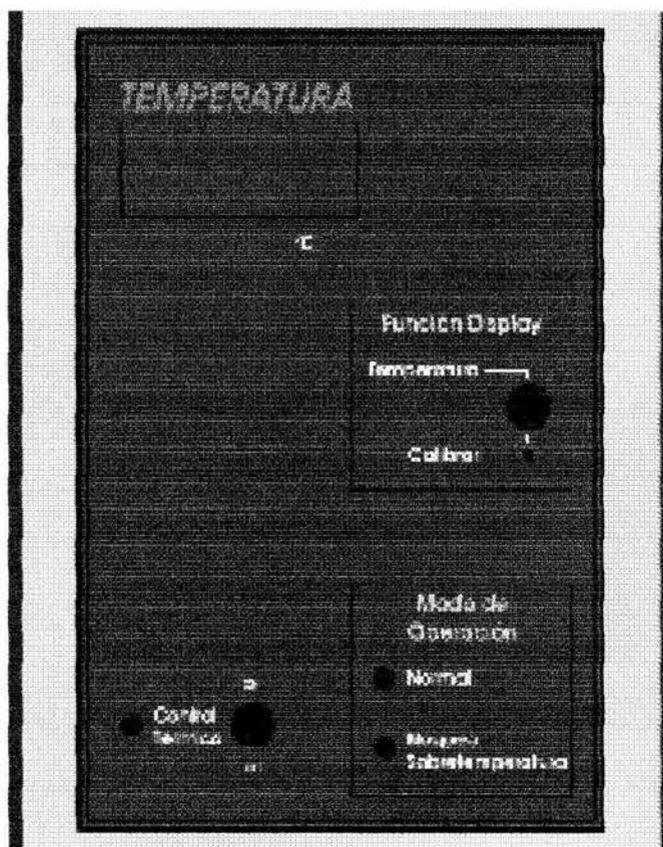


Fig. 7-4 Control de temperatura.

a) Colocar el interruptor indicado como “Función Display” en la posición “Calibrar” (en esta posición el display marca la temperatura que se desea).

b) Con ayuda de un desarmador plano de relojero, girar lentamente en sentido horario el tornillo indicado como “Calibrar” hasta que el display marque 50°C, probablemente la incubadora se apague automáticamente encendiendo el foco que indica bloqueo por sobretemperatura, si éste es el caso, se debe girar lentamente el tornillo de control de seguridad contra altas temperaturas en sentido horario, en un 70% de su recorrido (la incubadora funcionará de nuevo).



Fig.7-5 Tornillo de control de seguridad contra altas temperaturas.

c) Colocar el interruptor en la posición "Temperatura" (el display marca la temperatura del interior de la incubadora), la lectura aumentará poco a poco hasta alcanzar los 50°C, después de esperar 5 minutos aproximadamente, se debe girar muy lentamente el tornillo de control contra altas temperaturas en sentido antihorario hasta que la incubadora se apague; la temperatura máxima de seguridad quedará calibrada.

d) Esperar a que la incubadora encienda por sí sola, una vez que lo haga, mover el interruptor a la posición de "Calibrar", y girar el tornillo de calibración en sentido antihorario hasta la temperatura que se requiere.

e) Regresar el interruptor a la posición "Temperatura", observando que la lectura indicada en el display descenderá paulatinamente hasta estabilizarse en la temperatura escogida en el inciso anterior.

La incubadora cuenta con un ventilador que mantiene el aire en circulación constante en su interior, (esté o no la puerta abierta).

VII.4 Especificaciones

Voltaje de alimentación 127 VAC

Consumo máximo de potencia 350 W

Dimensiones de la cámara 34 x 53.5 x 52 cm

Peso total 60 Kg

	Mín	Máx
Rangos de temperatura	Ambiente	50°C

Rangos de velocidad de la Plataforma	45 RPM	285 RPM
--------------------------------------	--------	---------

Capítulo VIII. Lista de materiales.

Presentamos una lista de los materiales más importantes utilizados.

- Chasis
- Motor de cd
- Poleas
- Transformadores
- Circuitos integrados
- Potenciómetros
- Interruptores
- Carátula
- Displays de cristal líquido

Todos los componentes utilizados son de fácil adquisición, por lo que tanto el mantenimiento preventivo como correctivo se pueden realizar sin mayores complicaciones, y lo que es mas importante, el diseño y la construcción de la incubadora se realizaron en el país.

Capítulo IX. Conclusiones y resultados.

Primeramente, podemos mencionar que el equipo se encuentra completamente terminado y en operación en un laboratorio de aguas residuales desde marzo del presente año.

Referente a las especificaciones y requerimientos del instrumento podemos mencionar lo siguiente:

- La estabilidad buscada en la temperatura se definió a $\pm 1^{\circ}\text{C}$, el resultado al medirla alcanzó $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$. Medido a 37°C y una temperatura ambiente de 21°C .
- La temperatura máxima alcanzable corresponde a 56°C .
- Por seguridad el equipo cuenta con un limitador térmico ajustable instalado en la parte frontal inferior del equipo, con funcionamiento mecánico independiente a todo el sistema electrónico. La máxima temperatura permisible es de 60°C y es recomendable que trabaje a una temperatura 5°C arriba de la temperatura de la incubadora.
- La cámara está equipada con un ventilador que permite la circulación del aire interno a modo de mantener homogénea la temperatura.
- Con relación al movimiento orbital de la plataforma, se puede ajustar entre 40 y 250 rpm y la variación alcanzada fue en el orden del 1%, medido a 100 rpm y con variaciones de la tensión de alimentación de $\pm 10\%$ (114 a 140 VAC).

-
- Sabiendo que el equipo va a ser cargado con una masa total de muestras equivalentes a 6 Kg, las pruebas realizadas siempre se hicieron a 23 Kg, para poder visualizar rápidamente algún problema en la etapa mecánica, así como evaluar la capacidad del torque del motor y del sistema de transmisión.
 - En el caso de valorar la estabilidad del servocontrol de velocidad se realizó con diferentes masas desde 23 hasta 0 Kg (sin carga).
 - Con la finalidad de alargar la vida del sistema mecánico y de darle estabilidad al sistema de control de velocidad, se equipó el sistema con un dispositivo de arranque suave que nos permita incrementar y decrementar la velocidad angular lentamente.
 - Un punto de suma importancia, con el fin de minimizar el mantenimiento de la etapa de transmisión mecánica, fue la colocación de una polea tensora que permite optimizar el uso de la banda y del motor.
 - Con referencia a la presentación y distribución del panel de control se buscó que fuera duradero, que pueda mojarse, que el acceso a los controles no interfiriera con los displays y viceversa durante el manejo, fácil limpieza.
 - Con este trabajo reforcé mis conocimientos en todas las ramas involucradas, sobretodo en aspectos como la fabricación de circuitos impresos, en la fabricación de las estructuras mecánicas móviles, acabados y ergonomía de un equipo, entre otras.

Personalmente me queda una gran satisfacción al haber realizado este proyecto porque tuve la oportunidad de aplicar conocimientos de las dos ramas de la ingeniería que más me gustan: Ingeniería Electrónica e Ingeniería Mecánica, pero cuidando siempre, la realización de todas las ideas con una buena calidad y sobre todo con elegancia.

Bibliografía.

- "INTRODUCCIÓN A LA INGENIERÍA ELÉCTRICA" , Roadstrum.
- "CONVERSIÓN DE ENERGÍA ELECTROMECAÁNICA" , Gourishankar.
- "ELECTRÓNICA INDUSTRIAL, DISPOSITIVOS Y SISTEMAS" , Timothy J. Malonely.
- "CIRCUITOS MICROELECTRÓNICOS, ANÁLISIS Y DISEÑO" , Rashid.
- "GACETILLA INSTITUTO DE INGENIERÍA" NÚMERO 108, AGOSTO 2004 (Forjadores del instituto, por Ricardo Chicurel Uziel)
- "METODOS EXPERIMENTALES PARA INGENIEROS" , Holman.
- "MASTER REPLACEMENT GUIDE" , ECG semiconductors.
- "INTRODUCCIÓN A LAS MÁQUINAS ELECTRICAS Y TRANSFORMADORES" , George McPherson.
- "FÍSICA, CONCEPTOS Y APLICACIONES" , Tappens.
- "AMPLIFICADORES OPERACIONALES Y CIRCUITOS INTEGRADOS LINEALES" , Coughlin.
- "GENERAL PURPOSE LINEAR DEVICES, DATABOOK" , National Semiconductor.

-
- "SPECIAL PURPOSE LINEAR DEVICES, DATABOOK", National Semiconductor.
 - "DATA ACQUISITION LINEAR DEVICES, DATABOOK", National Semiconductor.
 - "SMALL-SIGNAL, TRANSISTORS, FETS AND DIODES DEVICE DATA", Motorola.
 - "BIPOLAR POWER, TRANSISTOR DATA", Motorola.
 - <http://www.brieva.com.ar/products.htm>