

UNIVERSIDAD DON BOSCO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERIA BIOMEDICA

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA  
INCUBADORA BACTERIOLOGICA

TRABAJO DE GRADUACION PRESENTADO POR:

RICARDO FRANCISCO MEDRANO HIDALGO

JOSE ANTONIO MOLINA

JOSE CARLOS ROMERO FLORES

PARA OPTAR AL TITULO DE :

TECNICO EN INGENIERIA BIOMEDICA

NOVIEMBRE 1994

SOYAPANGO · EL SALVADOR CENTRO AMERICA

## INDICE

RESUMEN	pag. 1
INTRODUCCION	3
1.0 PARTE TEORICA	4
1.1 INSTRUMENTACION PARA LABORATORIO	4
1.2 INCUBADORAS BACTERIOLOGICAS Y HORNOS DE SECADO	5
1.3 VACUNAS BACTERIANAS	7
1.4 PREPARACION DE VACUNAS BACTERIANAS	7
1.5 IMPORTANCIA DE LA VACUNA BACTERIANA	8
1.6 ESTRUCTURA DE LA ESTUFA DE CULTIVO	8
1.6.1 DISEÑO DE ESTRUCTURA	8
1.6.2 SELECCION DE MATERIALES	10
1.6.3 CONSTRUCCION DEL GABINETE	14
1.6.4 MANTENIMIENTO	16
2.0 PARTE TECNICA	17
2.1 DIAGRAMA EN BLOQUES DEL CONTROL DE TEMPERATURA	17
2.2 CONTROLADORES AUTOMATICOS. PROPORCIONAL	19
2.3 FUNCIONAMIENTO DEL CIRCUITO DE CONTROL DE TEMPERATURA POR ETAPAS	20
2.3.1 FUENTE DE ALIMENTACION	20
2.3.2 TECLADO O ETAPA DE INTRODUCCION DE SEÑAL DE REFERENCIA	22
2.3.3 CONTROL DE POTENCIA	29
2.3.3a TRANSISTOR UNIJUNTA PROGRAMABLE (PUT)	33
2.3.3b CARACTERISTICAS ELECTRICAS DE LOS TRIAC	35
2.3.4 CIRCUITO DEL TERMOMETRO DIGITAL	37
2.3.5 CONVERTIDORES DIGITAL-ANALOGICO ANALOGICO-DIGITAL	40
2.3.5a CONVERTIDOR DIGITAL ANALOGO	40
2.3.5b CONVERTIDORES ANALOGO-DIGITAL	43
2.3.5c CONVERTIDOR A/D POR APROXIMACION SUCESIVA	44
2.3.5d ADC 0804	44
2.3.6 MEMORIA SOLAMENTE DE LECTURA PROGRAMABLE Y BORRABLE	48

ANEXO I: DECODIFICADOR BINARIO BCD

UNIVERSIDAD DON BOSCO  
BIBLIOTECA CENTRAL  
"RAFAEL MEZA AYAU"  
CIUDAD DELA DON BOSCO  
SOYAPANGO, EL SALVADOR

ASPECTO ECONOMICO	52
CONCLUSIONES	54
RECOMENDACIONES	55
GLOSARIO	56
BIBLIOGRAFIA	57

## INDICE DE FIGURAS

FIG. 1 ESTRUCTURA DEL GABINETE	pag. 15
FIG. 2 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL CONTROL DE TEMPERATURA	18
FIG. 3 FUENTE DE ALIMENTACION	21
FIG. 4 ESQUEMA DEL CONTROL PROPORCIONAL	23
FIG. 5 PROCESADOR DE SEÑAL DIGITAL BCD A ANALOGICA	24
FIG. 6 TECLADO	25
FIG. 7 CIRCUITO CONVERTIDOR DIGITAL (BCD) A VOLTAJE ANALOGICO	26
FIG. 8 CIRCUITO ESCALEADOR DE CONTROL PROPORCIONAL	26
FIG. 9 ERROR MAXIMO, ERROR MINIMO	28
FIG. 10 OSCILADOR DE RELAJACION	30
FIG. 11 CARGA DEL CAPACITOR	32
FIG. 12 EL PUT	34
FIG. 13 OSCILADOR DE RELAJACION UTILIZANDO UN PUT COMO ELEMENTO ACTIVO	34
FIG. 14 CURVA TIPICA DE UN TERMISTOR NTC	38
FIG. 15 CURVA EN FORMA DE "S"	38
FIG. 16 REPRESENTACION ESQUEMATICA DE UN DAC	41
FIG. 17 CONVERTIDOR DIGITAL ANALOGO CON RESISTENCIAS R/2R	41
FIG. 18 REPRESENTACION ESQUEMATICA DE UN ADC	42
FIG. 19 ADC DE APROXIMACION SUCESIVA	42
FIG. 20 TERMOMETRO DIGITAL	46
FIG. 21 PRESENTADORES	47

## RESUMEN

La tarea de diseño y construcción de una incubadora bacteriológica se realizó aplicando los conocimientos de electrónica básica, sistemas digitales, amplificadores operacionales y control automático; para lo cual el lector del presente documento debe contar con los conocimientos antes mencionados.

Este documento ha sido dividido en dos partes, una de ellas trata sobre conocimientos teóricos de laboratorio clínico, vacunas y cultivos bacterianos, así como también sobre materiales de construcción de las incubadoras, fenómenos físicos referentes al control de temperatura y coeficientes térmicos de materiales, haciendo la escogitación de materiales apropiados para su construcción de fácil adquisición en el mercado.

La segunda parte del documento, contiene información sobre el proceso de diseño electrónico del control de temperatura e información sobre tipos de controles. En un principio, el control utilizado fue del tipo todo o nada, el cual es el sistema más utilizado en este tipo de equipo.

El prototipo inicial construido fue un control todo o nada digital con ingreso de temperatura por teclado, este sistema fue diseñado completamente digital hasta antes de la etapa de potencia; dicho control posee una velocidad de respuesta y exactitud comparable con cualquier termostato de precisión; pero se tuvo el inconveniente que el sistema no podía disminuir su inercia térmica a pesar de su velocidad y exactitud. El control todo o nada posee elevada inercia, esto conlleva a tiempos de estabilización grandes en un medio hermético; aunque puede alcanzar la temperatura deseada en un menor tiempo que los otros tipos de controles por su entrega de potencia total, pero el valor de temperatura se mantiene fluctuando en una cantidad significativa sobre el valor deseado; además su recuperación es lenta ante cambios de carga o al abrir el sistema hermético en el cual se desarrolla el cultivo bacteriano.

Para ello se decidió usar otro tipo de control, el control proporcional se implementó con la etapa de referencia o ingreso de temperatura digital, cambiando el control de entrega de potencia a circuitos analógicos. La referencia de temperatura fue convertida de digital a analógica para ser procesada por el nuevo control, con esta nueva implementación se logró disminuir exitosamente la inercia térmica en gran medida ya que la entrega de potencia es proporcional al error de temperatura, para llegar al valor deseado y cada vez que se acerca a dicho valor, la entrega de potencia disminuye proporcionalmente. Así también alcanzaron tiempos de estabilización más cortos y fluctuaciones de temperatura de  $1^{\circ}\text{C}$  por encima y debajo del valor de temperatura de referencia, disminuyendo cada vez más sus fluctuaciones y su inercia térmica hasta alcanzar el valor deseado en cuestión de dos minutos aproximadamente, mejorando así la calidad del cultivo bacteriano ante variaciones de carga.

El circuito de control está compuesto de un oscilador de relajación utilizando un PUT (transistor programable), el cual es sincronizado a actuar con los semiciclos alternos de alimentación de 60 Hz, además de utilizar transistores y amplificadores operacionales, los cuales reciben la señal de error de la retroalimentación de un sensor de temperatura y la señal de referencia. El oscilador de relajación entrega pulsos de disparo a un TRIAC a través de un opto acoplador, el cual también es encargado de mantener un aislamiento entre la etapa de potencia y el control. La potencia es entregada controladamente a la resistencia calefactora que se encarga de la generación de calor.

En este documento se incluyen los diagramas electrónicos, así como algunos cálculos importantes en el diseño. También se incluye diagramas del gabinete, el cual fue fabricado en los talleres de la Universidad Don Bosco en su centro de formación profesional. Incluyendo los costos en que se incurrió para realizar la fabricación de este equipo.

## INTRODUCCION

Concientes de la importancia que en la medicina tiene el área de laboratorio clínico, en este trabajo de graduación, se desarrolla el diseño y construcción de una parte importante de todo laboratorio clínico como es la incubadora bacteriológica.

En el diseño de esta incubadora bacteriológica se implementan características que raramente se encuentran en modelos de incubadoras existentes en nuestro país, pero que son determinantes, ya que de ellas dependen la precisión y la confiabilidad del equipo.

Entre estas características se puede mencionar el control de temperatura proporcional y el acceso por medio de teclado que tienen como finalidad una operación confiable y más sencilla para el usuario. No se omite mencionar, que el costo total de fabricación es considerablemente menor que el de un equipo importado, de iguales características.

Otro propósito es, que en la fabricación de esta incubadora se empleen materiales comunes, fáciles de adquirir en cualquier venta de repuestos electrónicos, y distribuidores de materiales industriales para el caso de los materiales de construcción del gabinete. Se espera que este trabajo sea de utilidad para el área de laboratorio clínico en El Salvador ya que presentará una alternativa en lo referente a la obtención de este tipo de equipo, específicamente en lo que se refiere al cultivo de bacterias.

## I PARTE TEORICA

### 1.1 INSTRUMENTACION PARA LABORATORIO

La importancia de la instrumentación de laboratorio clínico, radica en que las medidas que a diario se realizan en ella, repercuten en el diagnóstico o en las evaluaciones de la eficacia de una terapia. Por su función, podemos seccionar esta instrumentación en:

- a) *Instrumentación Bioquímica*
- b) *Instrumentación Hematológica*
- c) *Instrumentación Microbiológica*

#### a) **Bioquímica**

Análisis químico de líquidos (sangre, orina, líquido cefaloraquídeo, saliva, etc.) o de tejidos biológicos para detectar en ellos la presencia de determinadas moléculas o sustancias, para medir la concentración de ciertos componentes, sean iones ( $H^+$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Cl^-$ ), gases disueltos en la sangre ( $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $CO$ ), metabolitos (glucosa, urea, lípidos), moléculas complejas de origen biológico (proteínas, colesterol, etc.) o sustancias tóxicas (alcohol, barbitúricos, etc.). Normalmente la sustancia de interés está presente solo en cantidades minúsculas y no tiene ninguna propiedad que permita diferenciarla directamente de los demás, por lo que es necesario antes de efectuar la medición, separar la sustancia de otras que pueden interferir.

#### b) **Hematológica**

Sus objetivos son:

- 1.- Determinación del número y características diferenciales de las células sanguíneas (forma y tamaño)
- 2.- Estudio de la *coagulación* y la *fibrinólisis*
- 3.- Determinación de los *antígenos* y los *anticuerpos* de los grupos sanguíneos.

Los bancos de sangre también tienen relación con esta sección

### c) *Microbiológica*

Bacteriología médica es la parte de la microbiología, que se ocupa de la identificación de agentes infecciosos. La morfología del microorganismo, sus caracteres de desarrollo en diversos medios, pruebas *serológicas* o cutáneas del paciente y la inoculación en animales, son medios empleados para identificar estos microbios.

Deberá observarse una técnica estéril al obtener muestras para el cultivo. Las muestras para hacer cultivos útiles en el diagnóstico se toman de la sangre, orina, esputo, líquido cefalorraquídeo, efusiones, evacuaciones intestinales, nariz, garganta, heridas, etc.

Los materiales se inoculan en un medio sólido o líquido, preparado con agar, sangre o caldo de proteínas con colorantes, sustancias químicas y nutrientes. Generalmente, las bacterias de una muestra se colocan en un medio primario, se deja que proliferen durante varias horas y transcurrido este tiempo se identifican.

La elección de medios de cultivos primarios, depende del sitio de donde procede la muestra y del organismo u organismos que se supone se van a hallar. El medio de cultivo debe de estar preparado de tal manera, que permita el desarrollo del organismo deseado suprimiendo al mismo tiempo el crecimiento de organismos no deseados.

## 1.2 INCUBADORAS BACTERIOLOGICAS Y HORNOS DE SECADO

Estos equipos tienen la función común de generar un ambiente de calor seco con temperatura constante para diversos usos dentro de las rutinas de laboratorio clínico. Tienen en común las siguientes características:

- i- Cámaras construidas con material aislante del calor para independizarlas de las fluctuaciones de la temperatura ambiente y proporcionar una gran inercia térmica en su interior.
- ii- Calefacción obtenida a partir de resistencias eléctricas.
- iii- La construcción del interior y el exterior de la cámara es metálica, con ventana de observación de vidrio refractario (pueden encontrarse también otro tipo de materiales).

Se diferencian en los siguientes aspectos:

i- La temperatura de trabajo de la estufa de cultivo generalmente varia hasta 60°C, mientras que el horno puede trabajar de 50°C - 350°C.

ii- El horno utiliza corrientes de convección para homogeneizar la temperatura en su interior, teniendo por tanto rejillas de ventilación en su parte superior, mientras que la estufa presenta una cámara totalmente hermética.

iii- El horno se utiliza para procesos de secado y más frecuentemente de esterilización de instrumental y cristalería, por otra parte el uso principal de las estufas de cultivo exige que la temperatura se mantenga dentro de un rango de variación no mayor que 1°C. Esto obliga a utilizar sistemas de regulación de temperatura más sofisticados, siendo los más comunes aquellos que utilizan un termistor como señal de control para un TRIAC.

Existen dos tipos principales de incubadoras:

a) Incubadoras con chaqueta de agua.

Este tipo consiste esencialmente de una cámara rodeada con una chaqueta de agua, el agua puede ser calentada con gas o electricidad, y la temperatura es controlada por un termostato.

Este instrumento mantiene la temperatura más constante que las incubadoras de tipo anhidrico, la temperatura disminuye despacio si la fuente de calor falla, o si la puerta se deja abierta repetidas veces, pero le toma un tiempo considerable para restablecer la temperatura normal de trabajo.

b) Tipo anhidrico.

Este tipo de incubadora es calentado por medio de electricidad, el elemento calefactor está tomado por lineas de cobre alrededor de la cámara. La temperatura disminuye rápidamente si la potencia eléctrica se interrumpe o si la puerta es abierta repetidas veces, pero la temperatura normal de trabajo se alcanza rápidamente.

## 1.3 VACUNAS BACTERIANAS

Una de las aplicaciones de las incubadoras bacteriológicas es proporcionar un medio propicio para el cultivo de organismos utilizados en la fabricación de vacunas. La palabra *vacuna* fue originalmente aplicada al material empleado para producir inmunidad contra la viruela, el cual, era una suspensión glicerinada de vesículas obtenida de terneras, a las que se había inoculado la *vaccinia* o viruela de la vaca. Hoy se le da el nombre de vacuna a todo *antígeno* formado por bacterias, *virus* o *rickettsias* u obtenido de esos microorganismos, empleado para producir inmunidad contra una enfermedad.

Las vacunas bacterianas se dividen en dos clases:

1.- Vacunas de cultivos matrices y

2.- Vacunas autógenas, estas son las preparadas con cultivo de microbios aislados de la propia infección del paciente. Las vacunas de cultivo matrices, son las que se preparan de cultivos que se conservan en el laboratorio y que contienen cepas capaces de producir inmunidad.

Una vacuna bacteriana simple es la que se prepara de una sola especie de microorganismo. Una vacuna mixta es la preparada con más de una especie bacteriana. Una vacuna polivalente es la preparada con varias razas de la misma especie bacteriana. Una vacuna bacteriana monovalente es la que contiene no más que una sola cepa o especie bacteriana.

## 1.4 PREPARACION DE VACUNAS BACTERIANAS

Para preparar vacunas bacterianas, lo principal es encontrar un medio de cultivo adecuado para el crecimiento de la especie bacteriana con la que se produce la vacuna, generalmente se incuban los cultivos durante veinticuatro horas a una temperatura adecuada.

Para preparar vacunas bacterianas son más convenientes los cultivos jóvenes, pero en ocasiones puede ser necesario prolongar el tiempo de incubación de 48 a 72 horas o hasta que las bacterias se multipliquen en cantidad suficiente.

Al final de su período de incubación, las bacterias se recogen en estado aséptico vaciando solución estéril isotónica de sal en los medios sólidos; se agita o se raspa suavemente hasta que los microorganismos se hayan suspendido.

## 1.5 IMPORTANCIA DE LA INCUBADORA BACTERIOLOGICA

Como es evidente, tanto para estudio como para fabricación de vacunas bacteriológicas y propósitos similares, es muy importante el medio de cultivo. Este debe cumplir las necesidades no sólo de sobrevivencia de los microorganismos, sino poseer las condiciones necesarias que favorezcan la reproducción y desarrollo de éstos.

Estas condiciones necesarias pueden ser obtenidas por medio de una incubadora bacteriológica, la cual debe asegurar una temperatura adecuada, así como un aislamiento completo del medio ambiente, que podría influir en la actividad de los microorganismos en estudio.

La temperatura en el interior de una incubadora bacteriológica, no debe variar arriba de 1 grado centígrado, porque esto, si bien no mataría a los microorganismos podría ocasionar la inhibición de su actividad normal, que es lo que más interesa conservar, debido a esto, el control de temperatura debe ser suficientemente exacto. Otra característica necesaria para el medio de cultivo, es que debe tener un ambiente de calor seco, que debe estar aislado del medio ambiente.

## 1.6 ESTRUCTURA DE LA ESTUFA DE CULTIVO

### 1.6.1 DISEÑO DE ESTRUCTURA

El diseño de la estructura se realizó tomando como base el diseño de aparatos comerciales y las posibilidades de construcción al alcance. En base a estas investigaciones, se obtuvo características que definen el diseño de una estufa de cultivo, las cuales se mencionan a continuación:

A1.- Estos equipos tienen la función común de generar un ambiente de calor seco con temperatura constante, para ser usado dentro de las rutinas de laboratorio clínico.

A2.- Están constituidas por cámaras separadas con un material aislante del calor, para independizarlos de las fluctuaciones de la temperatura ambiente y proporcionar una gran inercia térmica en su interior.

A3.- Son construidas con metal anticorrosivo, esquinas redondeadas que permiten una fácil limpieza y una circulación de aire uniforme, tienen una ventana de observación que puede ser de vidrio templado, plexiglás o acrílico.

A4.- Estos aparatos presentan una cámara interior totalmente hermética. El uso principal de las estufas de cultivo, exige que la temperatura se mantenga dentro de un rango de variación no mayor de un grado centígrado.

A5.- La calefacción es obtenida a partir de resistencias eléctricas. La temperatura de trabajo de la estufa de cultivo puede alcanzar hasta 50°C , generalmente.

A6.- Deben poseer una distancia apropiada entre la cámara interna y la estructura exterior, para evitar al máximo que la temperatura ambiente afecte la temperatura seleccionada internamente y que la estructura externa disipe el calor de la cámara interna debido que cuando se juntan dos sistemas cuyas temperaturas son diferentes, la temperatura final que ambos alcanzan, tiene un valor comprendido entre las dos temperaturas iniciales.

Esta compensación del valor de la temperatura se debe al concepto físico llamado Conducción de Calor, nombre con el cual se denomina a la transferencia de energía causada por la diferencia de temperaturas entre dos partes adyacentes de un cuerpo.

Por estas razones, para evitar una separación exagerada entre ambas estructuras y debido que el aire entre éstas no aísla suficientemente el calor, es necesario llenar este espacio con un material que impida o reduzca al mínimo la transferencia de calor, comúnmente el material empleado es fibra de vidrio.

Otro factor que debe tomarse en cuenta para el diseño del equipo, fue la posición que ocuparían tanto el circuito electrónico como los instrumentos o dispositivos de control y presentadores. Después de un análisis apropiado, se decidió colocarlos en la parte inferior de la estructura, debido que al ocupar esta posición, resultaría más accesible al usuario para manipularlo, proporcionaría mayor facilidad y accesibilidad al ser requerido un mantenimiento, así como también, presentaría facilidades para ser montado.

## 1.6.2 SELECCION DE MATERIALES

La selección de materiales empleados en la estufa de cultivo, se llevó a cabo tomando en cuenta los siguientes factores:

- a) *Características térmicas (cámara interior)*
- b) *Duración*
- c) *Factor económico*

### a) Características Térmicas

Los efectos comunes a los cambios de temperatura, consisten en cambios correspondientes en el tamaño y en el estado de los materiales. A cualquier temperatura los átomos del sólido vibran. La amplitud de la vibración es casi de  $10^{-9}$  cm., lo cual representa 1/10 del diámetro atómico, la frecuencia de casi  $10^{13}$  Hz.

Cuando se aumenta la temperatura, la distancia promedio entre los átomos también aumenta, y se produce la dilatación de todo el cuerpo sólido. El cambio de cualquier dimensión lineal del sólido, tal como su longitud, su anchura o su espesor se llama dilatación lineal, si la longitud de esta dimensión lineal es  $l$ , el cambio en longitud, proveniente de un cambio en  $\delta T$ , en la temperatura, es  $\delta l$ , experimentalmente se encuentra que, si  $\delta T$  es lo bastante pequeña, el cambio  $\delta l$  es proporcional al cambio  $\delta T$  en la temperatura y a la longitud original. Por lo tanto podemos escribir

$$\delta l = \beta l \delta T \quad (1)$$

En donde  $\beta$ , llamado coeficiente de dilatación lineal, tiene valores diferentes para materiales distintos. Reescribiendo esta fórmula obtenemos

$$\beta = \frac{\delta l}{l \delta T} \quad (2)$$

De modo que  $\beta$  representa el cambio fraccional de la longitud, por cada cambio de un grado en la temperatura.

TABLA I  
VALORES EXPERIMENTALES DE COEFICIENTES DE DILATACION LINEAL PROMEDIO,  
DE VARIOS SOLIDOS COMUNES.

SUSTANCIA	(por °C)	SUSTANCIA	(por °C)
<i>Aluminio</i>	$23 \times 10^{-6}$	<i>Hule Duro</i>	$80 \times 10^{-6}$
<i>Latón</i>	$19 \times 10^{-6}$	<i>Hielo</i>	$51 \times 10^{-6}$
<i>Cobre</i>	$17 \times 10^{-6}$	<i>Invar</i>	$0.7 \times 10^{-6}$
<i>Vidrio (ordinario)</i>	$9 \times 10^{-6}$	<i>Plomo</i>	$29 \times 10^{-6}$
<i>Vidrio (pyrex)</i>	$.2 \times 10^{-6}$	<i>Acero</i>	$11 \times 10^{-6}$

En la tabla anterior, se presenta una lista de los valores experimentales del coeficiente de dilatación lineal promedio, de varios sólidos comunes.

Debido a la construcción de doble pared y por la acción de la fibra de vidrio como aislante que las separa, la pared exterior no se verá afectada por los cambios térmicos internos, sino sólo por la temperatura ambiente y dado que su temperatura no afectará la función del aparato sus características térmicas no serán prioritarias al seleccionar el material que la constituirá, sin embargo, en caso de darse una conducción térmica a través del aislante, deberá ser capaz de disiparlo para no afectar el circuito electrónico o ser una fuente de peligro de quemaduras u otros daños al medio que lo rodea.

La cámara interna y el material transparente para observarla, y que constituye la puerta de acceso al interior, deberán tener limitaciones, en cuanto a sus características térmicas, tales como un bajo coeficiente de dilatación lineal, Calor específico elevado, buena conducción térmica para mantener una temperatura interna homogénea y además deberán tener otras características, tales como duración y la no producción de gases o sustancias, que impidan a la larga el desarrollo de la función del aparato.

Las sustancias difieren entre sí, en la cantidad de calor que se necesita para producir, en una masa dada, un determinado aumento en su temperatura. La relación del calor  $\delta Q$  proporcionado a un cuerpo y el aumento correspondiente  $\delta T$  de su temperatura, se llama capacidad calorífica C del cuerpo; es decir,

$$C = \text{Capacidad calorífica} = \delta Q / \delta T \quad (3)$$

La capacidad calorífica por unidad de masa de un cuerpo, llamada calor específico, es característica del material del cual está compuesto el cuerpo:

$$C = \text{Capacidad calorífica/masa} = \delta Q / (\delta T \times m) \quad (4)$$

TABLA II  
VALORES DE C PARA ALGUNOS SOLIDOS (A LA TEMPERATURA AMBIENTE Y CON P = 1.0 ATM)

SUSTANCIA	CALOR ESPECF. CAL/g°C	CALOR ESPECF. J/g°C	PESO MOLEC. G/nº	CAPACIDAD CALORIF.MOLAR Cal/nº/°C	CAPACIDAD ESPECF.MOLAR J/nº/°C
<i>Aluminio</i>	0.215	0.900	27.0	5.82	24.4
<i>Carbono</i>	0.121	0.507	12.0	1.46	6.11
<i>Cobre</i>	0.0923	0.386	63.5	5.85	24.5
<i>Plomo</i>	0.0305	0.128	207	6.32	26.5
<i>Plata</i>	0.0564	0.236	108	6.09	15.5
<i>Wolframio</i>	0.321	0.134	184	5.92	24.8

En el límite de una lámina de espesor infinitesimal  $dx$  a través de la cual hay una diferencia de temperatura  $dT$ , obtenemos la ley fundamental de la conducción de calor, en la que el flujo de calor  $H$  queda determinado por

$$H = -kAdT/dx \quad (5)$$

En esta expresión,  $H$  es la rapidez de la transferencia de calor a través del área  $A$ ,  $dT/dx$  recibe el nombre de gradiente de temperatura y  $k$  es una constante de proporcionalidad llamada conductividad térmica. La dirección del flujo de calor será aquella en la que aumenta  $x$ ; como el calor fluye en la dirección en que disminuye  $T$ , introducimos un signo menos en la ecuación (lo que quiere decir que  $H$  será positiva cuando  $dT/dx$  sea negativa).

Una sustancia con una gran conductividad térmica  $k$ , es un buen conductor de calor; en cambio una con una pequeña conductividad térmica  $k$ , es un mal conductor de calor, o por el contrario, un buen aislante térmico. El valor de  $k$  depende de la temperatura, aumentando ligeramente cuando ésta aumenta, pero se puede considerar casi como una constante en toda sustancia si la diferencia de temperaturas entre sus partes no es demasiado grande.

T A B L A III  
CONDUCTIVIDADES TERMICAS (A TEMPERATURA AMBIENTE)

Sustancia	Kcal/s.m.°C	J/s.m.°C
<i>Aluminio</i>	$4.9 \times 10^{-2}$	$20 \times 10^1$
<i>Latón</i>	$2.6 \times 10^{-2}$	$11 \times 10^1$
<i>Cobre</i>	$9.2 \times 10^{-2}$	$39 \times 10^1$
<i>Plomo</i>	$8.3 \times 10^{-3}$	35
<i>Plata</i>	$9.9 \times 10^{-2}$	$41 \times 10^1$
<i>Acero</i>	$1.1 \times 10^{-2}$	46
<i>Asbesto</i>	$2 \times 10^{-5}$	$8 \times 10^{-2}$
<i>Vidrio</i>	$2 \times 10^{-4}$	$8 \times 10^{-1}$
<i>Madera</i>	$2 \times 10^{-5}$	$8 \times 10^{-2}$

Los materiales que se han seleccionado para la incubadora, son comunmente usados por los fabricantes a gran escala para la producción de éstas y en general para cualquier aparato que trabaje en relación con temperaturas variables, estos son el aluminio y/o acero. La cámara exterior está constituida por acero inoxidable y la cámara interior de aluminio, con una puerta de vidrio téplado.

Estos materiales cumplirán con las exigencias térmicas a las que se verán sometidos, debido a las características que éstos presentan y que se ha mencionado anteriormente, además de no oxidarse ni degradarse, por lo que es posible garantizar su durabilidad y la no producción de sustancias tóxicas.

### 1.6.3 CONSTRUCCION DEL GABINETE

Para el diseño del gabinete se realizó un trabajo de investigación que abarcó diversos laboratorios y locales donde se adquieren este tipo de aparatos, con el fin de encontrar el diseño apropiado para el gabinete. Se contó además con el auxilio de diversos catálogos de los que se obtuvieron datos como las dimensiones, el tipo de material a utilizar, la posición de la circuitería, resistencia calefactora, presentadores, etc.

Existen en el mercado dos tipos de incubadoras con respecto a su presentación: incubadoras de piso y de mesa. Se dispuso construirla para ser colocada sobre una mesa ya que este tipo de incubadoras son de menores dimensiones, requiriendo así menos materiales para su fabricación.

Las dimensiones del gabinete fueron decididas primero en base a los equipos que se encuentran en el mercado y luego en base a las dimensiones de los materiales adquiridos. La separación entre la cámara interior de aluminio (fig. 1) y la cubierta exterior de acero inoxidable se determinó tomando en cuenta el aislamiento térmico que debería existir en la primera, factor en el cual se basó la escogitación del material aislante que debía dividir ambas estructuras.

La construcción del gabinete fue realizada en la Universidad Don Bosco, en los talleres de formación profesional.

TABLA IV  
MATERIALES UTILIZADOS EN LA FABRICACION DEL GABINETE

MATERIAL EMPLEADO	TAMAÑO	GROSOR
Lamina de acero inoxidable	4 x 8 pies	0.8 mm
Lamina de aluminio	2 x 1 metros	0.8 mm
Vidrio templado		
Fibra de vidrio		

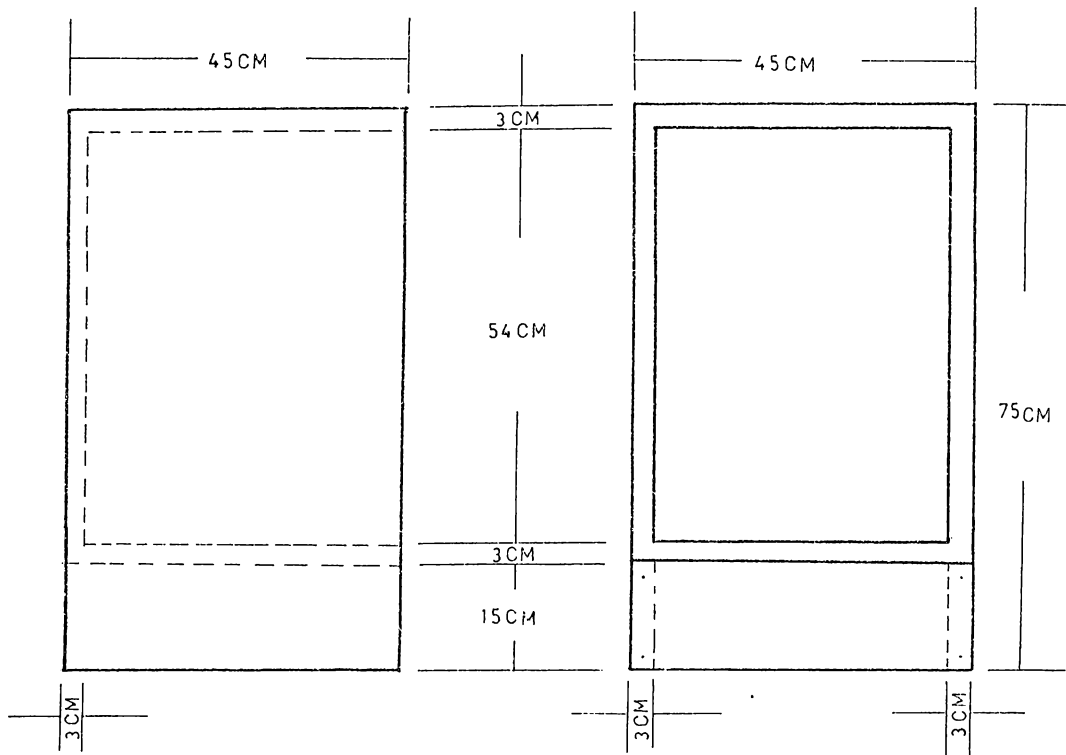
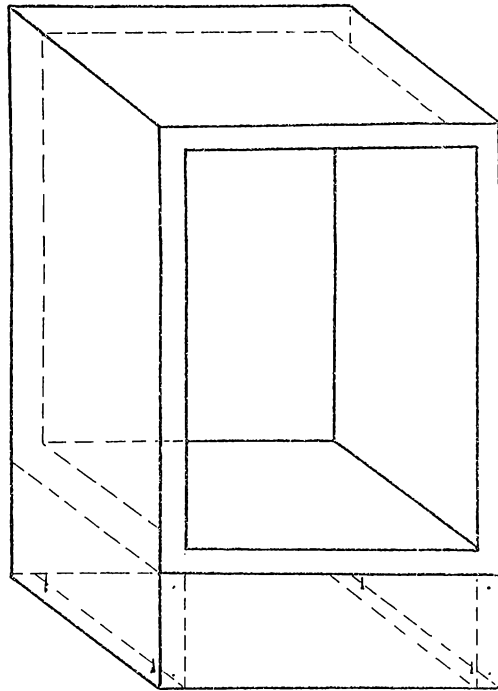


FIG.1 ESTRUCTURA DEL GABINETE

#### 1.6.4 MANTENIMIENTO

La experiencia demuestra que una estufa bacteriológica no presenta problemas si se llevan a cabo cuidados durante su uso, conviene tener en cuenta:

- Mantener abierta la puerta durante el menor tiempo posible, tanto para no dañar el circuito debido a las fluctuaciones de temperatura que esto ocasionaría, como para no afectar el desarrollo de bacterias por la misma razón.

- Evitar, en lo posible, la proximidad de aparatos cuyo campo magnético pudiese dañar los sensibles dispositivos electrónicos que constituyen el circuito.

- Evitar el derrame de sustancias en el interior del aparato que pudiesen contaminar las muestras y dañar el circuito.

Si a pesar de lo expuesto anteriormente, surge algún defecto o problema, conviene repasar la siguiente lista, que ayudara a localizar la causa y a suministrar el remedio correspondiente.

FALLO	CAUSA	REMEDIO
a) Las bacterias no se desarrollan	-No llega energía al circuito (resistencia calefactora inoperante)	-Revisar estado de fusible. -Revisar el cable de la red y toma corriente.
	-No se alcanza la temperatura necesaria	-Revise estado de puerta, bisagras y mecanismos de cierre. -Revise sello de puerta, cambie si es necesario. -Compruebe precisión de la temperatura, ajuste termostato.
b) LED de encendido inoperante.	-No hay energía en el circuito. -Falla del circuito	-Revisar fusible, conexión y cable. -Revisar estado de interruptores, controles y pilotos

## II PARTE TECNICA

### 2.1 DIAGRAMA EN BLOQUES DEL CONTROL DE TEMPERATURA

El diagrama de bloques del circuito electrónico de la incubadora bacteriológica se muestra en la Fig. (2) y su explicación es la siguiente:

En su primera etapa consta de un teclado por el cual, se introduce el valor de la temperatura deseada que es tratado digitalmente en código B.C.D. el cual es transformado al voltaje analógico, constituyendo la señal de referencia para el control de temperatura.

La otra señal que ingresa al control de temperatura es la proveniente del puente sensor de temperatura ; esta señal es de voltaje análogo con escalonamiento a la señal de referencia.

El control de temperatura activa la etapa de potencia cuando el valor de la temperatura no ha alcanzado el valor de referencia; esta temperatura es realimentada hacia la etapa sensora.

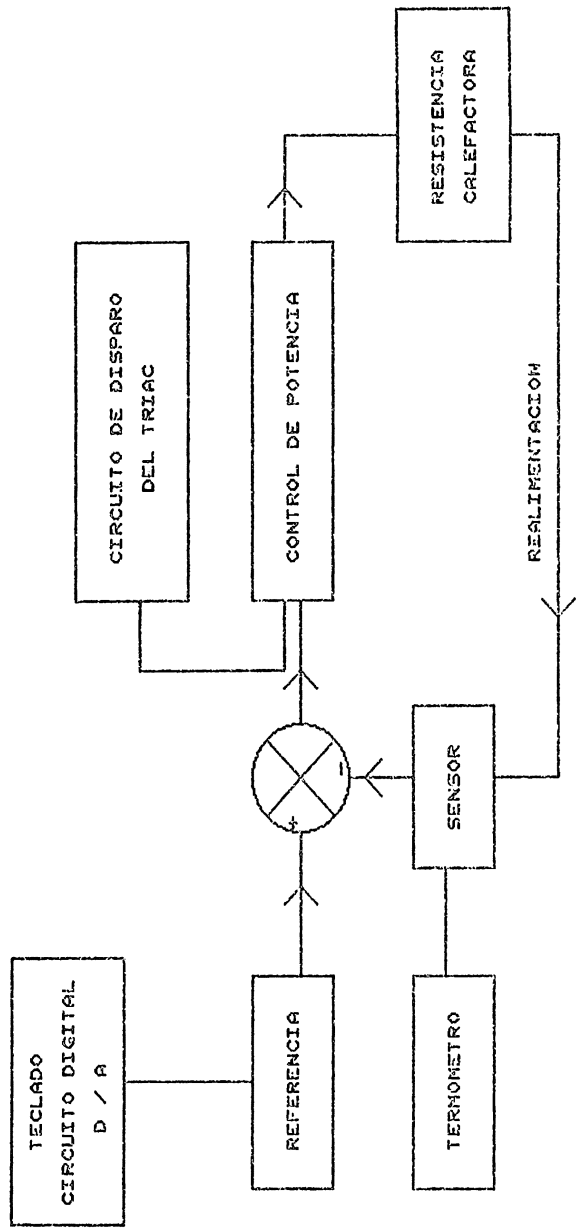


FIG.2 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL CONTROL DE TEMPERATURA

## 2.2 CONTROLADORES AUTOMATICOS. PROPORCIONAL.

En todo sistema autoajustable, debe existir un circuito que gobierne el desempeño del sistema como un todo; esta es la función de un controlador.

Entre los tipos de controladores se encuentra :

- 1) *Controladores SI - NO*
- 2) *Controlador Proporcional*
- 3) *Controlador Integral*
- 4) *Controlador Derivativo*
- 5) *Control Proporcional - Integral*
- 6) *Controlador Proporcional-Integral-Derivativo*

Cada uno de ellos posee ciertas características y un área de aplicación general. Se escoge para cada variable a controlar, el de características apropiadas para manejarse. En este trabajo no se pretende cubrir todos los controladores; pero sí el utilizado en el circuito de la incubadora; el cual fue el controlador proporcional. Este modo de control se caracteriza porque existe una ligera relación lineal entre la salida del controlador y el error.

El error es la diferencia entre la señal de referencia establecida y la señal que proviene del parámetro o variable a controlar. Para nuestro caso sería la diferencia entre la señal del teclado y la del termómetro digital; ambas debidamente escaladas.

El modo de control proporcional puede ser expresado en términos de la ecuación:  $P = K_p E_p + P(o)$

$K_p$  : Constante de proporcionalidad entre la salida del controlador y el error.

$P(o)$  : Es la salida del controlador cuando no hay error.

El uso del controlador proporcional reduce el error alrededor de la temperatura de referencia, mejorando el control de temperatura en la incubadora.

Para ilustrar como se hace el control de temperatura se representa la variación de temperatura como una senoide de poca amplitud Fig. (4), oscilando sobre la referencia; pero es de observar que por la forma de suministro de energía a la resistencia calefactora se disminuye la inercia térmica, la cual es la oposición al cambio de variación de la temperatura, ya que a medida que el error disminuye y se aproxima a cero (temperatura del sistema igual al de referencia), la potencia entregada a la resistencia también disminuye en proporción al error, hasta llegar a cero; así se evitan cambios bruscos que provoquen una inercia térmica, la cual ocasionaría que por este fenómeno, la temperatura siguiera incrementándose al paso de la variación de ésta; no siendo amortiguada. El control de potencia se logra disparando al TRIAC por ángulos de conducción en la corriente alterna. Lo cual se explicará más adelante.

## **2.3 FUNCIONAMIENTO DEL CIRCUITO DE CONTROL DE TEMPERATURA POR ETAPAS**

### **2.3.1 FUENTE DE ALIMENTACION**

La fuente de alimentación fue diseñada con circuitos integrados como se muestra en la figura 3, para ello se utilizó un transformador reductor de 110v a 24v con tap central. La señal alterna es rectificadora por el puente de diodos y filtrada por capacitores C1 y C2. Este voltaje filtrado posee un nivel de rizado que es disminuido y regulado por los circuitos integrados, los cuales son dos reguladores de voltaje de  $\pm 5v$ . El circuito integrado 7805 es un regulador de +5v, el cual para trabajar apropiadamente debe poseer a su entrada un voltaje mínimo de 7.3 v al igual que el circuito integrado 7905, el cual es un regulador de -5v. Esto dos integrados presentan a su salida un nivel de  $\pm 5v$  respectivamente con una tolerancia no mayor al 1%. Su máxima corriente de salida es de 1 amperio lo cual es ideal para alimentar al circuito digital y analógico. Estos dispositivos deben ser colocados en disipadores de calor para evitar que un excesivo calentamiento los destruya, en este caso, sólo el IC7805 fue montado en el disipador ya que es el que entrega la mayor parte de la potencia al circuito. El IC7905 entrega solo una pequeña cantidad de potencia de salida por lo cual no fue necesario montarlo en el disipador.



Calculo de los filtros:

$$C = V_{max} / (\delta V_r \times f \times R_1) \quad (6)$$

haciendo  $R_1 = 130 \text{ ohm}$ ,  $\delta V_r = \text{voltaje de rizo}$

$$C = 12 \times 1.4142 / (0.5 \times 120 \times 130)$$

$$C = 2175.71 \mu\text{F}$$

Se escogió un capacitor de  $2200 \mu\text{F}$   $25\text{v}$ , el rizo se escogió de  $0.5\text{v}$  debido a que es una variación aceptable para ser regulada por el circuito integrado.

### 2.3.2 TECLADO O ETAPA DE INTRODUCCION DE SEÑAL DE REFERENCIA

Esta etapa consta de un teclado decimal por el cual se introduce el valor de la temperatura deseada al sistema. Fig. (6) Al presionar cada tecla se conmuta de abierto a conducción, cada tecla actúa como un push-button, la conexión del teclado va una serie de resistencias de un kilo ohmio conectadas a  $+5\text{v}$  y a uno de los terminales del teclado, el cual se mantiene normalmente abierto a un nivel de 5 voltios y se conmuta a cero voltios, al presionar la tecla deseada; cada nivel lógico va a la entrada de un codificador de decimal a binario (IC2) 74LS147 y la salida de éste, a compuertas inversoras IC1; ya que la decodificación binaria se da invertida.

- Las salidas de las compuertas inversoras se dirigen a las compuertas OR de 4 entradas, (IC3) el cual se encarga de poner un uno lógico a la salida si se presiona cualquier tecla, el uno lógico pasa a un circuito multivibrador mono estable (IC11) conformado por un LM555 el que se encarga de eliminar el rebote del teclado, la salida de este integrado conforma un pulso estrecho de reloj de tres FLIP-FLOP JK (IC4 e IC5) 74LS76 los cuales se configuran como registro de desplazamiento en anillo el cual ante los pulsos de reloj que se generan al presionar alguna tecla, corren el dato digital 110 a la derecha. Antes de ello, para generar el dato digital 110 a las salidas Q de cada FLIP-FLOP se presiona la tecla clear que además resetea el dato del teclado.

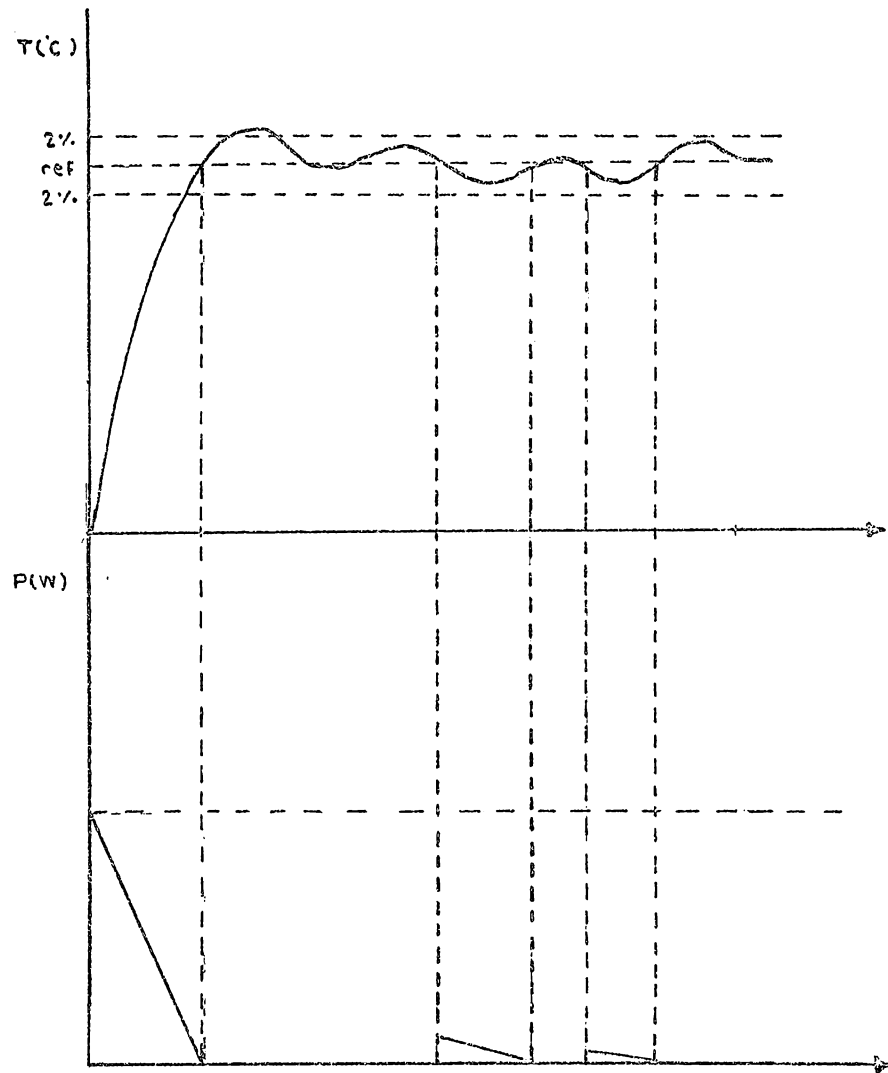


FIG4. ESQUEMA DEL CONTROL PROPORCIONAL

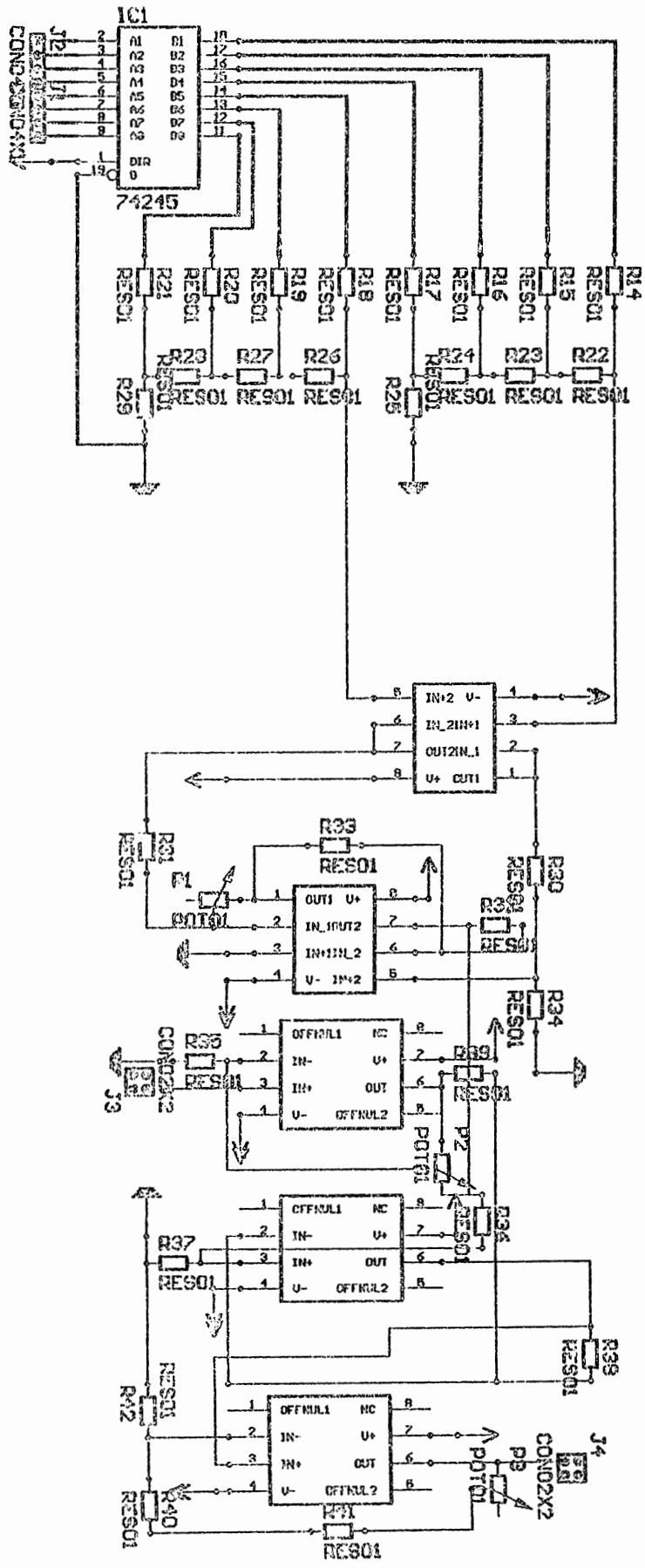


FIG.5 PROCESADOR DE SEÑAL DIGITAL BCD A ANALOGA



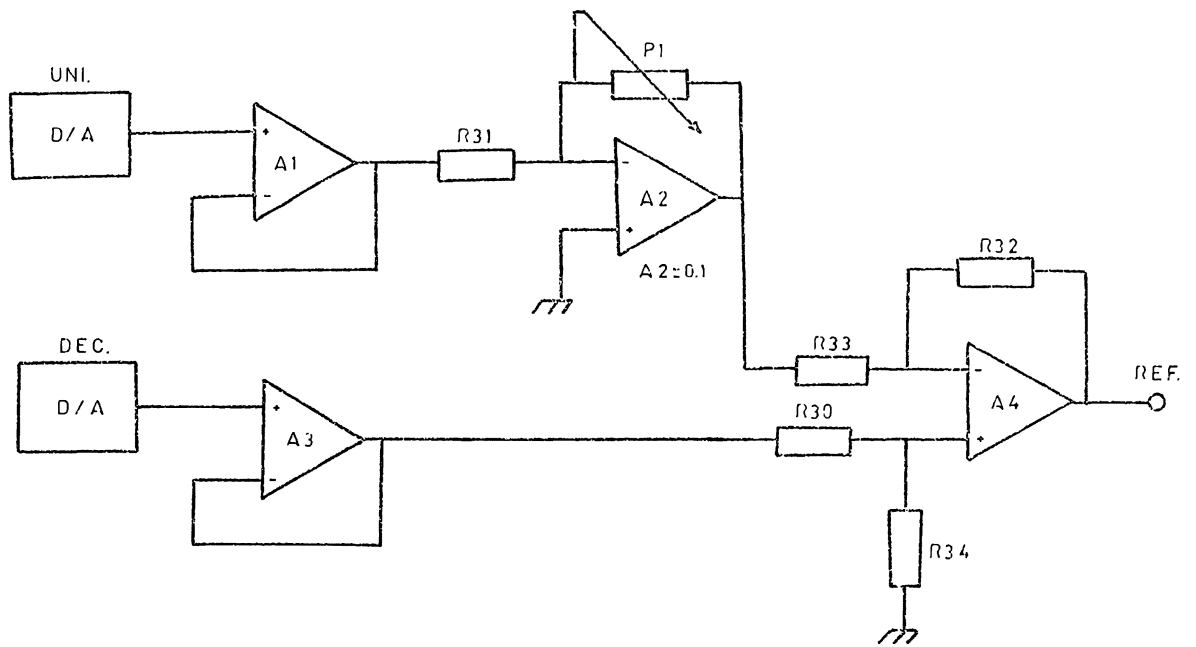


FIG.7 CIRCUITO CONVERTIDOR DIGITAL (BCD) A VOLTAJE ANALOGICO.

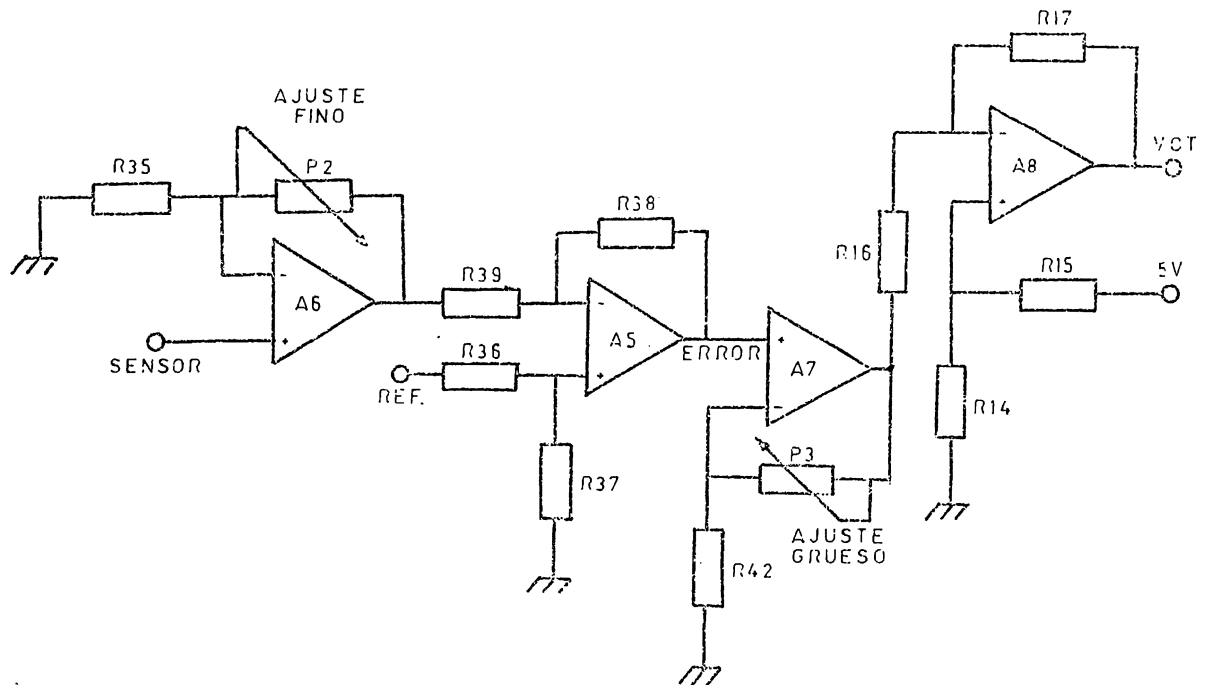


FIG.8 CIRCUITO ESCALEADOR DE CONTROL PROPORCIONAL.

El objetivo del desplazamiento de este dato es habilitar por medio del cero lógico, la entrada del latch doble de 4 bits. (IC7) 8308 cada uno de los cuales enlazan la palabra digital del teclado cuando se presiona una tecla y hay un desplazamiento del cero lógico para la habilitación de cada uno de los latch. Por tanto en uno de los latch se tiene la palabra digital que representa a las unidades y en otro las decenas, obteniéndose la salida en código BCD natural. Este código va hacia un BUFFER (IC6) 74245 el cual se utiliza para no sobrecargar esta etapa con la siguiente. Dicho código o bus de datos tiene dos caminos, uno de los cuales va hacia 2 decodificadores de 7 segmentos (IC12 e IC13) para visualizar el valor de la temperatura ingresada o de referencia.

El otro camino es hacia el buffer antes mencionado y luego dos arreglos de resistencias (R14-R29) configurados como convertidores de digital-analógicos. En cuyas salidas encontramos un voltaje analógico proporcional a la palabra digital de entrada del código BCD. Separando dicha señal analógica en decenas y unidades. Para no sobrecargar el sistema se utilizan a la salidas de cada convertidor un doble amp-op (IC8) configurados como seguidores de voltaje presentando alta impedancia de entrada y baja impedancia de salida. Posteriormente la señal que representa a las unidades es amplificada 0.1 de ganancia por un amp-op en configuración inversora Fig (7); esta señal y la de las decenas (en valor analógico) son restadas por un amp-op en configuración de restador con el fin de obtener a su salida una señal analógica de referencia proporcional al valor de temperatura ingresada.

La siguiente etapa es el control de temperatura Fig (8) en la cual se toma la señal de referencia analógica para ser restada de la señal del sensor de temperatura constituyendo la señal de error. Esta señal representa que tanto la señal del sensor se acerca o aleja al valor de la señal de referencia. La señal de error es escalada por medio del control proporcional que irá al CKT de potencia que proporciona el disparo de un TRIAC para diferentes ángulos de conducción de la señal alterna que alimenta la resistencia calefactora dependiendo de la magnitud del error.

El ángulo de conducción de cada semiciclo alterno, se encuentra entre  $0^\circ$  y  $180^\circ$  dejando un margen en los límites de estos ángulos, para que el TRIAC pueda entrar en conducción. Fig(9a), así cuando el error es máximo el disparo se dará cercano al límite de 0 y se entrega la máxima potencia; y cuando el error es cercano a cero, el disparo del ángulo de conducción se da a los  $180^\circ$ , donde no se estaría entregando potencia a la resistencia calefactora Fig. (9b). De esta manera se debe dar un barrido del ángulo de conducción proporcional al error.

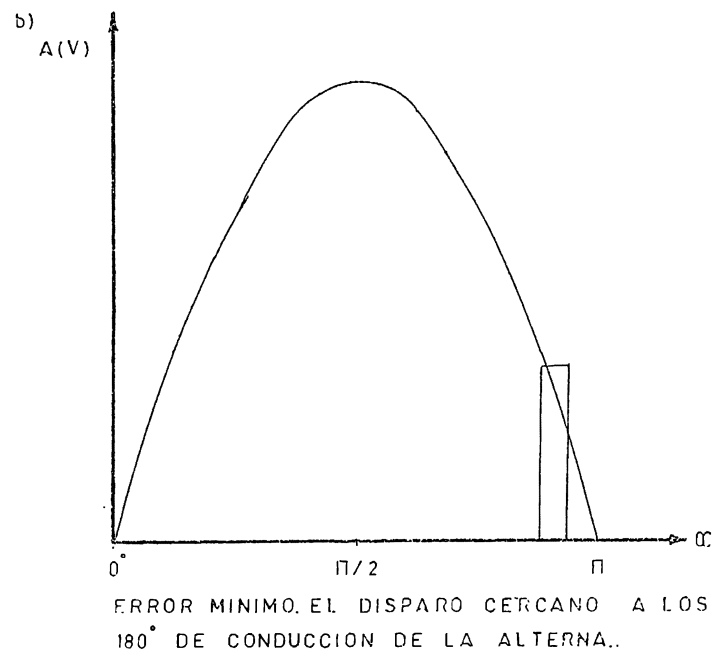
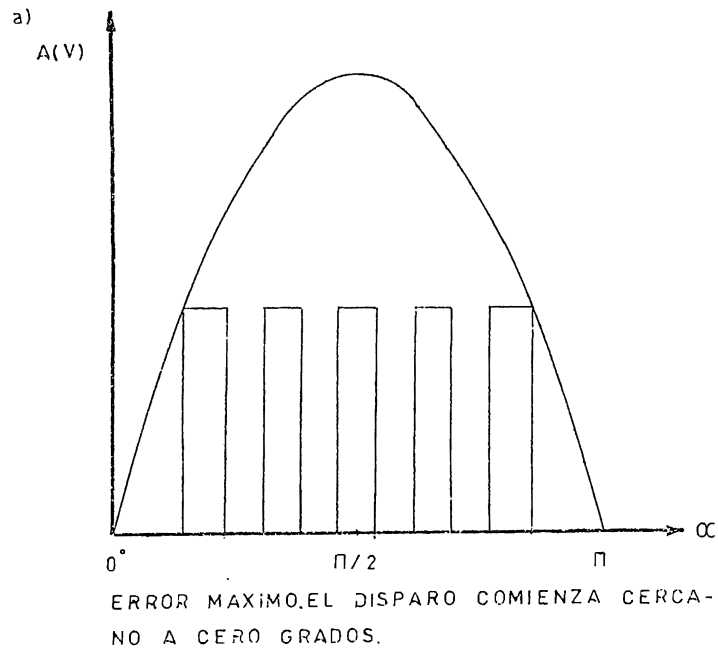


FIG. 9

Circuitalmente se realiza de la siguiente manera. La señal del sensor es restada de la señal proveniente de la referencia, la cual es debidamente escalada por el amp-op configurado como amplificador no inversor Fig (8), al cual se le dio una amplificación de 11.58 v/v, ya que la variación del DAC es de 0.22 v por palabra digital, y el cambio de la señal de voltaje de la etapa sensora por 1°C es de 0.019v. Luego estas dos señales van hacer restadas por un amp-op en configuración de restador con ganancia unitaria, cuya fórmula es :

$$V_o = e_1(R_1 / (R_1 + R_2)) (R_F / R_3 + 1) - e_2(R_F / R_3) \quad (7)$$

Para el cual  $R_1 = R_2 = R_3 = R_F$  así  $V_o = e_1 - e_2$  donde  $e_1$  representa la señal de referencia, y  $e_2$  la señal de la etapa sensora, escalada a la señal de referencia, obteniéndose  $V_o = e_1 - e_2$ ; para el cual  $V_o$  es igual al error de voltaje proporcional a la temperatura de referencia. Esta señal de error será escalada proporcionalmente por A7 para proporcionar un voltaje coherente con el ángulo de conducción de la siguiente etapa. La salida de A7 será restada de una referencia de 5v en A8 cuya función se explicará en la etapa de control de potencia. La señal a la salida de A8, llamada VCT, va hacia la etapa de control de potencia.

### 2.3.3 CONTROL DE POTENCIA

Fig. (10) El puente de diodos D2 ,proveniente del transformador de sincronismo(el cual toma una muestra de la señal alterna) ,rectifica en onda completa la señal alterna; para que el ángulo de disparo al TRIAC pueda ser dado en ambos ciclos positivo y negativo. La señal rectificadada se dirige hacia un circuito que contiene un oscilador de relajación, el cual está basado en la operación del transistor de unijuntura programable (PUT), donde éste genera una serie de pulsos con periodos determinados por el tiempo que tarda la red RC en igualar el voltaje VCT, el cual se fija a la compuerta del dispositivo. El transistor programable se dispara cuando el voltaje de ánodo excede el voltaje de puerta en aproximadamente 0.7 v; cuando el voltaje de ánodo cae bajo este nivel , el PUT se apaga. Los transistores Q1 y Q2 se combinan para inhibir la carga del capacitor C ( 1 ) cuando no hay señal Vz (D1). Cuando Vz esta presente Q1 se satura y obliga a Q2 al corte permitiendo que C (1) se comience a cargar a través de R (2) hasta que el voltaje en C (1) sobrepase en 0.7 a VCT, momentáneamente en el cual el PUT conduce representando una resistencia muy baja, haciendo que C (1) pierda toda su carga a través de él, éste se bloquea volviendo a su condición inicial y repitiendo nuevamente el proceso siempre que se encuentre señal en Vz. Es por esto que el error debe ser restado de una referencia de 5 voltios, ya que el retardo de disparo es mayor cuando el voltaje VCT es mayor, con esto se logra que a error max el disparo se dé de cercano a los 0° de conducción de AC y a error.



Los valores para C1 y R2 están determinados por el período max. y min. de la oscilación que se desea. Este se traduce al rango de valores que puede tomar el ángulo de retardo. Idealmente T debe variar entre cero segundos y 8.33 mseg aproximadamente.

Tomando que el voltaje máx. de carga del capacitor se tiene que dar a los 8ms, como se muestra en la Fig (11). Cuando este voltaje alcanza mas de un 90% de su valor, se puede decir que el capacitor alcanza plena carga. Escogiendo estos valores para la red RC en estas circunstancias se tiene

$$V_c = V_p, \quad V_p = 0.7 + V_g$$

$$V_c = V_{max} (1 - e^{-t/(RC)}) \quad (8)$$

$$\text{para } V_c = 0.95 V_{max}$$

$$0.95 V_{max} = V_{max} (1 - e^{-t/(RC)}) ; \ln (1 - 0.95) = -t/(RC)$$

$$-3 = -t/RC \quad ; \quad RC = t/3 \quad RC = 8.3 \text{ ms}/3$$

$$RC = 2.76 \text{ para } C = 0.01 \text{ mf} \quad R = 276 \times 10^3$$

Los impulsos en el cátodo del transistor programable son pasadas hacia dos transistores Q (3) y Q (4) los cuales se excitan con un impulso mínimo de amplitud de 1 voltio saturando a Q (3) y poniendo al corte a Q (4) estos impulsos van hacia un opto acoplador, el cual es un opto TRIAC que excita la compuerta de disparo del TRIAC que controla la potencia en la resistencia calefactora. El OPTOTRIAC utilizado es el 3047 con voltaje de aislamiento de 7500 V que separa la fuente DC del suministro alterno del TRIAC.

El TRIAC es disparado en los dos semiciclos alternos entregando cierta cantidad de potencia según el ángulo de disparo a la puerta de éste. La operación del TRIAC es en modo 1 y 3 (cuadrante 1 y 3 disparos positivos semiciclo positivo y disparo negativo semiciclo negativo).

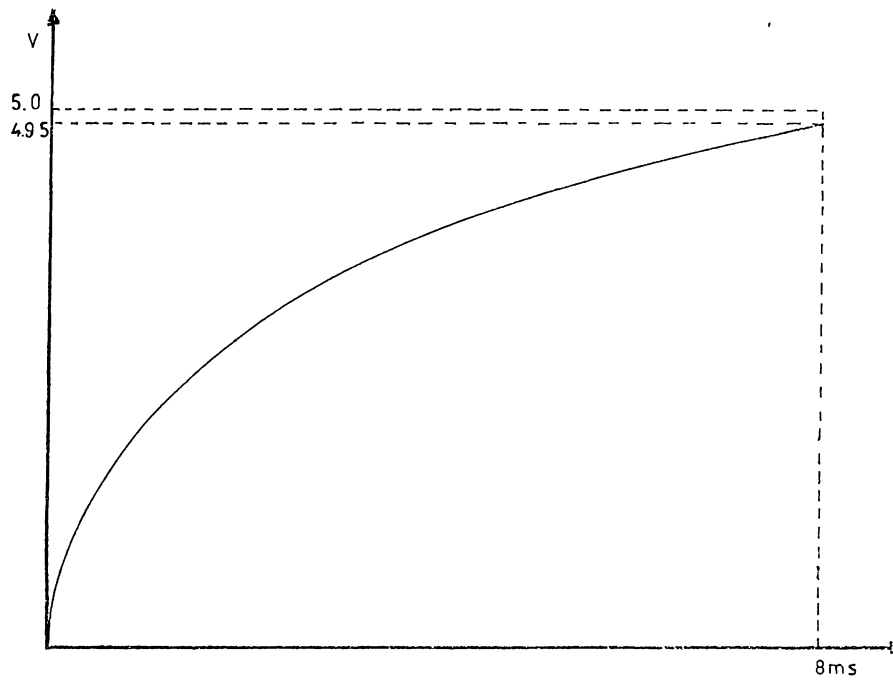


FIG.11 CARGA DEL CAPACITOR.

### 2.3.3a TRANSISTOR UNIJUNTURA PROGRAMABLE (PUT)

El PUT es un transistor de control de 4 capas. Tiene 3 terminales (fig. 12):

*A ánodo*  
*C cátodo*  
*G puerta*

En operación, un voltaje es colocado entre el ánodo y el cátodo del PUT, con el ánodo positivo con respecto al cátodo. No puede fluir corriente entre el ánodo y el cátodo hasta que un pulso de disparo negativo (con respecto al ánodo) se aplique a la terminal de puerta del PUT.

El PUT es usado como dispositivo activo en circuitos osciladores RC, una de sus mayores ventajas es que es muy estable a los cambios de temperatura. Ejemplo de un PUT como elemento activo es un oscilador de relajación (Fig 13)

La resistencia R2 tiene un valor pequeño y es usada para desarrollar el pulso de voltaje de salida del oscilador. R4 desarrolla el voltaje de puerta. Cuando el circuito se energiza, C1 se carga desde tierra a través de R1. Cuando C1 se carga a más del voltaje de  $V_p$  (voltaje pico, el necesario para encender el PUT), el PUT se enciende y C1 se descarga a través del PUT y R2. Cuando el valor del voltaje de C1 cae abajo del voltaje de valle  $V_v$ , el PUT se apaga y el ciclo comienza de nuevo.

La frecuencia puede variarse cambiando R, o C1, también puede variarse cambiando la razón de R3 y R4. Esta razón controla el voltaje de puerta y también controla el valor del voltaje pico,  $V_p$ . Para incrementar la frecuencia, R3 se incrementa mientras R4 se mantiene constante. Para decrementar la frecuencia, R3 se mantiene constante mientras R4 se hace de un valor más grande.

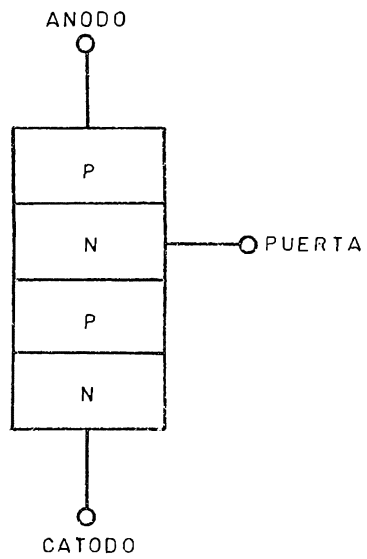


FIG.12 EL PUT. TIRISTOR DE 4 CAPAS.

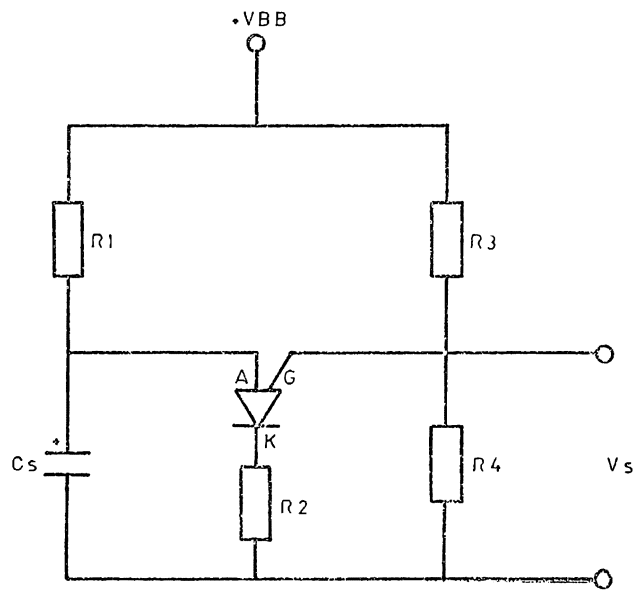


FIG.13 OSCILADOR DE RELAJACION UTILIZANDO UN PUT COMO ELEMENTO ACTIVO.

### 2.3.3b CARACTERISTICAS ELECTRICAS DE LOS TRIAC

Cuando un TRIAC esta polarizado con un voltaje mas positivo en MT2 (llamada polarización directa o terminal principal positivo) este se dispara por una corriente que fluye de la puerta a MT1. En esta manera, el disparo del TRIAC es idéntico al disparo de un SCR.

El terminal G es positivo con respecto a MT1, lo cual hace que la corriente de disparo fluya hacia el dispositivo desde el terminal de puerta a fuera del dispositivo por MT1. El voltaje necesario para el disparo del TRIAC esta simbolizado por VGT, para el caso 2.5 v<sub>max</sub>.; la corriente de puerta para dicho disparo es denominada IGT y para el NTE56006 es 75 mA o 40 mA.

Cuando el TRIAC es mas positivo en MT1 (denominado polarización inversa) el disparo generalmente se ejecuta enviando corriente al TRIAC por el terminal MT1 y hacia afuera del TRIAC por el terminal G.

Debido a su capacidad de conducción de corriente bidireccional, el TRIAC es un dispositivo versátil. Este dispositivo posee cuatro posibles combinaciones para ser disparado, a esto se le conoce como modos de disparo. La diferencia de estos modos, radica en la polaridad de sus terminales. Normalmente, todas las corrientes y voltajes para un TRIAC están dados con respecto a MT1. Esta convención es requerida para evitar confusiones. Un TRIAC es un dispositivo no polarizado y por eso es simétrico.

Los cuatro modos de disparo de un TRIAC son:

Modo A: MT2 es positivo con respecto a MT1, y el pulso de compuerta positivo con respecto a MT1 (cuadrante 1).

Modo B: MT2 positivo con respecto a MT1, y el pulso de compuerta negativo con respecto a MT1 (cuadrante 2).

Modo C: MT1 positivo con respecto a MT2, y el pulso de compuerta es negativo con respecto a MT1 (cuadrante 3).

Modo D: MT1 positivo con respecto a MT2, y el pulso de compuerta negativo con respecto a MT1 (cuadrante 4).

Cada uno de estos modos de disparo tienen diferentes requerimientos de corriente.

El modo A es el más fácil para provocar el disparo y necesitamos menos requerimientos de corriente, La corriente necesaria para el disparo es igual a IGT. En modo B el TRIAC no es muy eficiente. La corriente de disparo puede ser al menos cinco veces IGT. Los modos C y D son básicamente similares y la corriente de disparo puede ser al menos dos veces IGT; pero estos datos dependen de cada modelo de TRIAC.

El TRIAC utilizado (NTE56006) posee una IGT mínima de 40 mA para los cuadrantes uno y tres, y 75 mA para los cuadrantes dos y cuatro por lo cual no hubo mucho problema al realizar el disparo ya que el TRIAC en el circuito opera en los cuadrantes uno y tres. Además este TRIAC posee una I<sub>T(rms)</sub> máxima de 15 A; la cual es suficiente para manejar la resistencia calefactora de 600 watt a 110 v para lo cual tenemos:

$$P = V \times I \quad (9)$$
$$I = P / V = 600\text{watt} / 110\text{v} = 5.45 \text{ A}$$

Lo cual da un margen de seguridad en el manejo de la corriente. Entre otro de los parámetros eléctricos del TRIAC se encuentran el  $dV / dt$  que significa cambios de voltaje con respecto a cambios en el tiempo, estos cambios rápidos de voltaje pueden causar un falso disparo del TRIAC; así este parámetro no debe sobrepasarse en ningún momento. En nuestro caso el TRIAC utilizado posee un  $dV / dt$  igual a 50 v/ $\mu$ seg. Para lo cual la frecuencia de la alterna por ser de 60 Hz no afecta en ninguna manera al dispositivo; pero si, los transientes de ruido que conlleva esta señal alterna causando el disparo en falso. Para ello es necesario el filtrado de la señal de voltaje alterno liberandola de estos transientes de ruido. Para evitar este problema se procedió a conectar en paralelo con el TRIAC una red RC consistente de C2 y R11 como se muestra en la figura 3.5, la cual conforma un camino de baja impedancia para las altas frecuencias de ruido filtrando las señales de corriente alterna.

Otro parámetro importante que al sobrepasarlo puede ocasionar un falso disparo en el TRIAC es el VRRM o máximo voltaje entre MT1 y MT2 que da un margen de seguridad para que el TRIAC no sea disparado sin utilización de señal en la compuerta, para nuestro caso el máximo voltaje alterno es de  $110\text{v} \times 1.414 = 155.56 \text{ v}$  y el VRRM del dispositivo es de 400v, lo que da un amplio margen de protección ante falsos disparos no controlados por compuerta.

Entre otros datos especificados están la  $I_H$  que es la corriente de sostenimiento que mantiene al TRIAC encendido; bajo esta corriente el TRIAC se apaga; para el caso la  $I_{Hmin}$  es de 40mA esto indica que el TRIAC dejará de conducir en un ángulo cercano a los  $180^\circ$  de conducción, ya que la corriente por estos límites será lo mas mínima posible; y así también cercano a los cero grados de conducción.

### 2.3.4 CIRCUITO DEL TERMOMETRO DIGITAL

Esta etapa es la que se encarga de sensar la temperatura y traducirla a un voltaje escalado para todo el sistema; así también se visualiza por medio de un presentador el valor de temperatura. El sensor de temperatura lo constituye un termistor de 10 Kohm con coeficiente negativo de temperatura (NTC).

Dicho termistor con su curva o número de identificación es muy difícil de encontrar en el país; así como también cierto tipo de diodos sensores de temperatura como el LM335. Debido a esta dificultad se tuvo que graficar la curva aprox. de voltaje  $V_{rs}$  temperatura, la cual es logarítmica. Posteriormente se procedió a linealizar el termistor como se explicará a continuación.

Una técnica de linealizar un termistor es la de tomar tres puntos equidistantes de la curva típica del termistor sobre un rango de temperatura a trabajar. Este tipo de linealización produce un error sobre la curva en forma de "S" con una desviación no mayor al 2% del valor esperado.

Una curva típica de un termistor se muestra en la figura 14 claramente se puede apreciar la no linealidad de ésta: al posicionar un valor de resistor establecido en paralelo con el termistor, se produce una resistencia equivalente del paralelo que tiene una relación lineal con la temperatura en tres puntos equidistantes  $T_a$ ,  $T_b$ ,  $T_c$  y una pequeña relación en forma de "S" en las temperaturas intermedias como se muestra en la figura 15 cuando también se coloca dichas resistencias en serie con el termistor produce el mismo efecto descrito anteriormente si un voltaje a través de dicha resistencia es medida, éste mantiene una relación lineal con la temperatura. El valor de la resistencia de linealización es encontrada mediante la siguiente expresión:

$$R = \frac{R_b (R_a + R_c) - 2 R_a R_c}{R_a + R_c - 2 R_b} \quad (10)$$

Donde  $R_a$ ,  $R_b$  y  $R_c$  son los respectivos valores de resistencia del termistor a temperaturas  $T_a$ ,  $T_b$  y  $T_c$ .

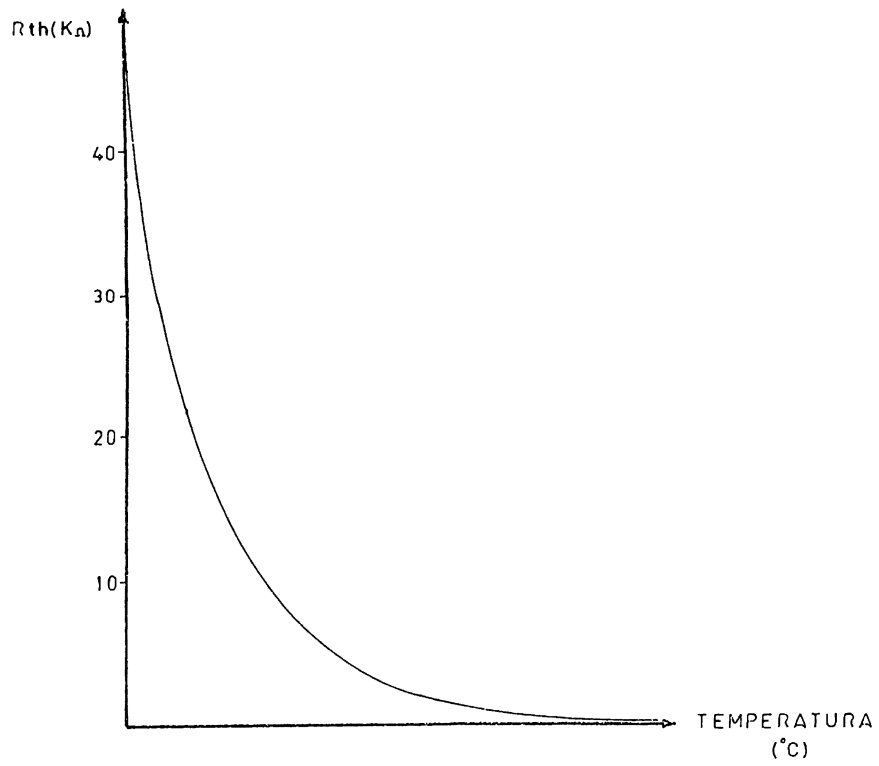


FIG.14. CURVA TIPICA DE UN TERMISTOR NTC.

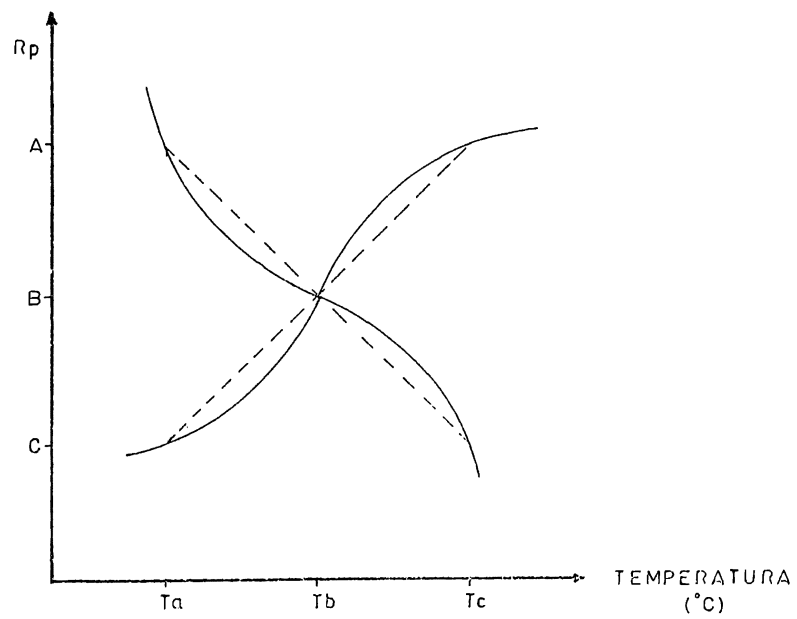


FIG.15 CURVA EN FORMA DE "S"

Para un resistor R en paralelo con la resistencia de Termistor  $R_t$  la resistencia equivalente se puede encontrar mediante la expresión  $R_p = RR_t / (R + R_t)$ . En adición con la condición de equidistancia se requiere que  $R_{pa} - R_{pb} - R_{pc}$  sustituyen la ecuación de paralelo :

$$\frac{R(R_a)}{R + R_a} - \frac{R(R_b)}{R + R_b} = \frac{R(R_b)}{R + R_b} - \frac{R(R_c)}{R + R_c} \quad (11)$$

Dividiendo entre R tenemos

$$\frac{R_a}{R + R_a} - \frac{R_b}{R + R_b} = \frac{R_b}{R + R_b} - \frac{R_c}{R + R_c} \quad (12)$$

Similarmente con un voltaje constante a través de  $R_t$  se tiene

$$ER = (ER - ERT) / (R + RT) \quad (13)$$

por división de voltaje y por el criterio equidistancia

$$\frac{ER_a}{R + R_a} - \frac{E(R_b)}{R + R_b} = \frac{E(R_b)}{R + R_b} - \frac{E(R_c)}{R + R_c} \quad (14)$$

Dividiendo entre E y despejando R, se llega a la anterior expresión

$$R = \frac{R_b(R_a + R_c) - 2R_aR_c}{R_a + R_c - 2R_b} \quad (15)$$

Para el caso de la incubadora, el rango necesario de temperatura es de 25° a 50° para los cuales se tomaron las temperaturas de  $T_a = 30^\circ\text{C}$ ,  $T_b = 40^\circ$ ,  $T_c = 50^\circ$  cuyas resistencias son respectivamente

$$R_a = 7.85 \text{ K} , R_b = 1.6 \text{ K} , R_c = 4 \text{ K}$$

la R aproximada fue de 5476.9 se utilizó una  $R = 5.6 \text{ K}$  formando un puente divisor de voltaje como se muestra en la figura (20) posteriormente el puente diferencial se procedió a dar una cierta ganancia y un valor de referencia para obtener una resolución de cambio de 0.019 v/°C, la cual es aplicada al ADC0804 cuyo cambio de palabra con respecto al voltaje análogo, es de aprox. 0.019 V el cual está dado por el valor de referencia y el número de bits palabra digital =  $V_{ref} / 2^n$

$$\text{donde } V_{ref} = Xv \text{ N: 8 bits o palabra digital} \quad (16)$$

El bus de datos de 8 bits va hacia una memoria 2716 IC (3), la cual es usada como decodificador de binario a B.C.D., posteriormente a unos decodificadores de 7 segmentos y a un presentador de LEDES.

Otra salida que se toma del termómetro digital es la que va hacia el circuito de control de temperatura. Esta señal está escalada a un cambio de 0.019 v/°C para hacer coherente con la referencia del teclado.

### 2.3.5 CONVERTIDORES DIGITAL - ANALOGICO ANALOGICO - DIGITAL

Existen sistemas electrónicos que utilizan unos y ceros lógicos; manejándose estos con técnicas digitales; por otro lado se encuentran los sistemas analógicos por naturaleza, es decir, los valores producidos varían en un amplio rango. Para transformar datos de un campo a otro, de discreto a continuo o de continuo a discreto, se emplean convertidores de digital analógico (D/A) o de analógico digital (A/D).

#### 2.3.5a CONVERTIDOR DIGITAL ANALOGO

El convertidor digital analógico es un dispositivo que acepta una palabra digital, un voltaje y una corriente analógica de referencia, produciendo un voltaje y una corriente analógica (fig. 16). Existen diversos modelos de convertidores digital - analógico, pero, por razones de simplicidad y economía se decidió utilizar el DAC con resistencias R/2R (fig. 17), la entrada de este arreglo resistivo proviene de un buffer 74245 (IC6, fig. 16), el cual se utiliza para garantizar un cierto nivel de voltaje a la salida del sistema digital.

Como se explica en la sección correspondiente al teclado, esta salida está en BCD (8bits), por lo que se han empleado dos arreglos resistivos idénticos de cuatro bits cada uno, en los que se ha utilizado resistores con valores parecidos a los ideales, la salida correspondiente a las unidades es amplificada 0.1 veces mediante un amplificador inversor, luego es restada de la salida de las decenas mediante un amplificador operacional que funciona como restador, dando como resultado un voltaje analógico proporcional a la palabra digital BCD.

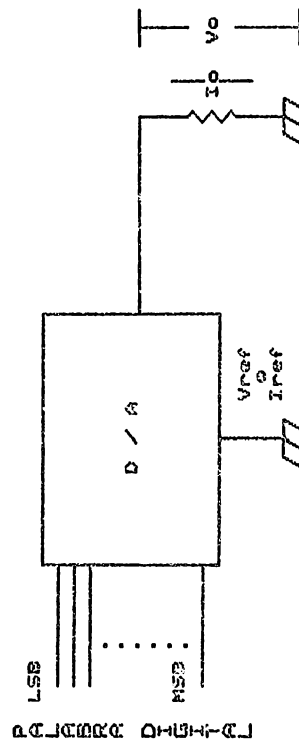


FIG.16 REPRESENTACION ESQUEMATICA DE UN DAC

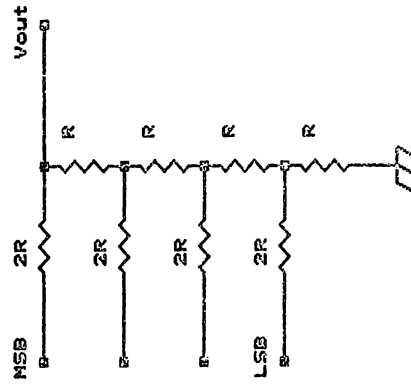


FIG.17 CONVERTIDOR DIGITAL-ANALOGO CON RESISTENCIAS  $R/2R$

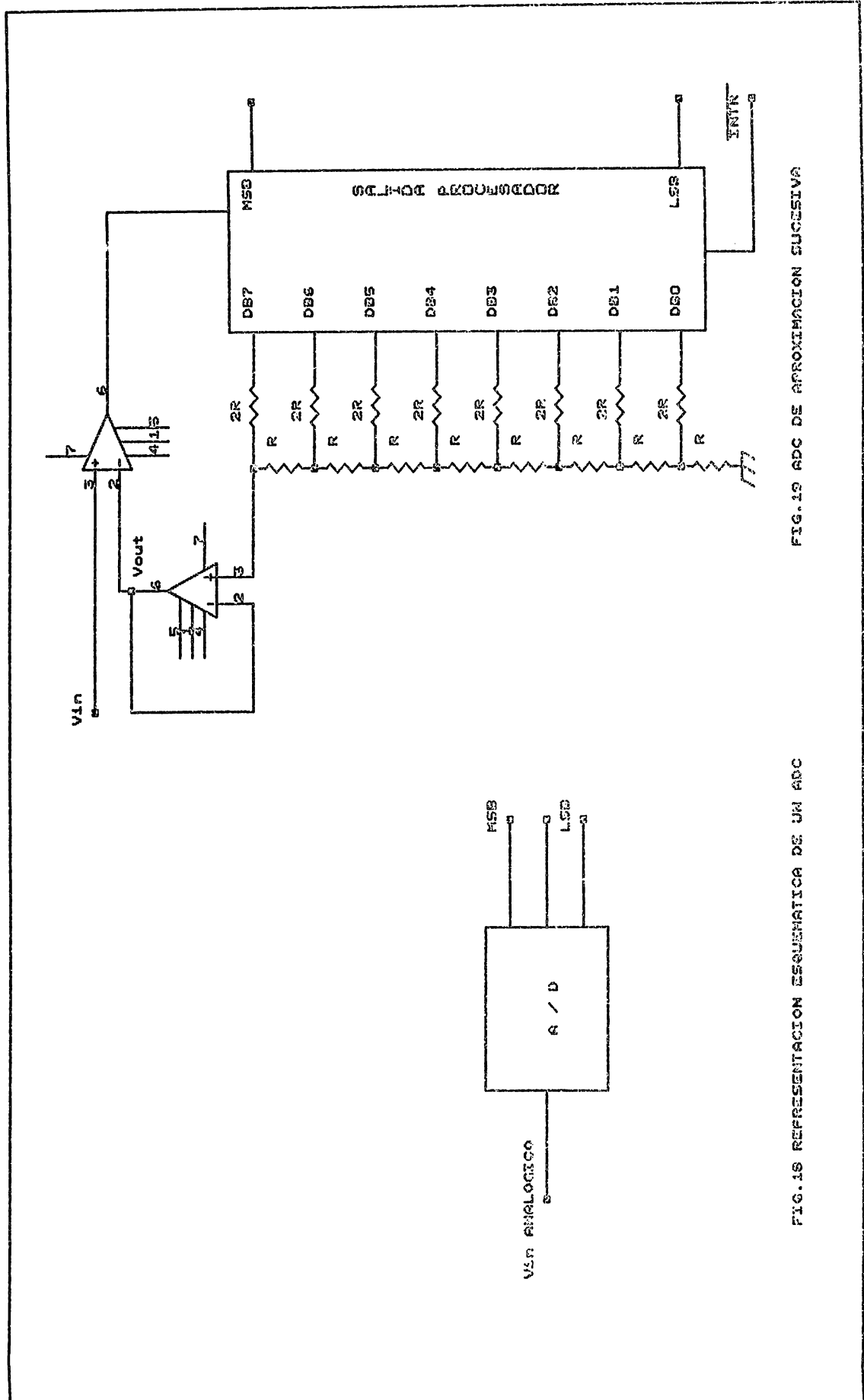


FIG. 18 REPRESENTACION ESQUEMATICA DE UN ADC

FIG. 19 ADC DE APROXIMACION SUCESIVA

Los voltajes obtenidos experimentalmente para cada cambio se muestran en la tabla V.

TABLA V  
VOLTAJES OBTENIDOS PARA CADA CAMBIO EN LA PALABRA DIGITAL  
PARA CADA ARREGLO RESISTIVO

PASO	CONTEO	VOLTAJE DE SALIDA	PASO	CONTEO	VOLTAJE DE SALIDA
1	0000	0.235	1	0000	0.191
2	0001	0.440	2	0001	0.392
3	0010	0.645	3	0010	0.600
4	0011	0.848	4	0011	0.806
5	0100	1.059	5	0100	1.023
6	0101	1.267	6	0101	1.231
7	0110	1.477	7	0110	1.443
8	0111	1.687	8	0111	1.655
9	1000	1.890	9	1000	1.875
10	1001	2.098	10	1001	2.085

### 2.3.5b CONVERTIDORES ANALOGICO - DIGITAL

Es un sistema que acepta un voltaje analógico que produce una palabra digital, siendo este proporcional al voltaje analógico de entrada (fig 18). Al igual que los DAC, hay varios tipos:

- a) *De conteo*
- b) *Seguidor de señal*
- c) *Paralelo*
- d) *Aproximación sucesiva.*

Debido a que este convertidor estará en el circuito del termómetro digital, el cual requiere una gran precisión, se decidió utilizar el ADC 0804, el cual es un circuito integrado que realiza esta función con gran exactitud. De los tipos de ADC mencionados anteriormente solo nos interesa el de aproximación sucesiva por ser el usado por el ADC 0804.

### 2.3.5c CONVERTIDOR A / D POR APROXIMACION SUCESIVA.

Utiliza un procesador digital (fig.19), operando de la siguiente forma:

1. La salida del DAC es programada para tomar inicialmente una cuenta de cero.
2. El bit mas significativo cambia a uno si la salida del ADC es mayor que el voltaje de entrada, el bit retorna a cero; si no, permanece en 1.
3. Continúa este proceso hasta llegar al mas significativo.
4. Cuando el proceso se ha completado, la combinación digital final es el resultado de la conversión.

### 2.3.5d ADC 0804

La conversión de voltaje analógico a palabra digital, es de suma importancia en el circuito de medición de temperatura. El convertidor analógico digital (A D C) se encarga de convertir el voltaje procedente del puente sensor de temperatura a un número binario proporcional a éste.

El circuito integrado encargado de esta operación es el A D C 0804, que es un convertidor de aproximación sucesiva de 8 bits. Este integrado es de tecnología CMOS por lo que para su manipulación deben observarse las precauciones necesarias. Una de sus características especiales, es que posee un circuito de reloj interno, cuya frecuencia de trabajo está dada por los valores de C1 y R6 (fig 20)

$$f_{clk} = 1 / ( 1.1 \times R6 \ C1 ) \quad (17)$$

El pin 9 (vref/2) se deja sin conectar, y el circuito integrado entiende la referencia como VCC (5v. DC) Como el voltaje de referencia es 5V, y el circuito integrado por ser de 8 bits realiza 256 cambios ( $2^8 = 256$ ), el voltaje necesario para un cambio en el bit menos significativo es de 19 mv.

$$5v / 256 \text{ cambios} = 0.019 \text{ V/cambio}$$

A continuación se presentan las funciones de los pines del ADC 0804:

$\overline{\text{INTR}}$  : Indica cuando ha terminado una conversión ( transición de alto a bajo (Pin 5)

$\overline{\text{WR}}$  : (bajo activo) combinado con  $\overline{\text{CS}} = 0$  da inicio a la conversión (Pin 3)

$\overline{\text{CS}}$  : (bajo activo) hace o no hace posible la conversión

$\overline{\text{RO}}$  : (bajo activo) permite hacer lectura de la conversión

VIN (-) y VIN (+) : Voltaje analógico de entrada (mínimo GND - 0.05v) (máximo  $V_{cc} + 0.05V$ )

DB0 - DB7 : salida digital

$V_{cc}$  : pin de alimentación positiva (máxima 5v)

DGND y AGND : tierra del circuito digital y analógico respectivamente.

CLKR y CLK : pines que utilizando un capacitor y un resistor (extremos generan los pulsos de reloj.

VREF/2 : voltaje de referencia aplicado al CHIP. Valor que proporciona el valor de voltaje de escala completa.



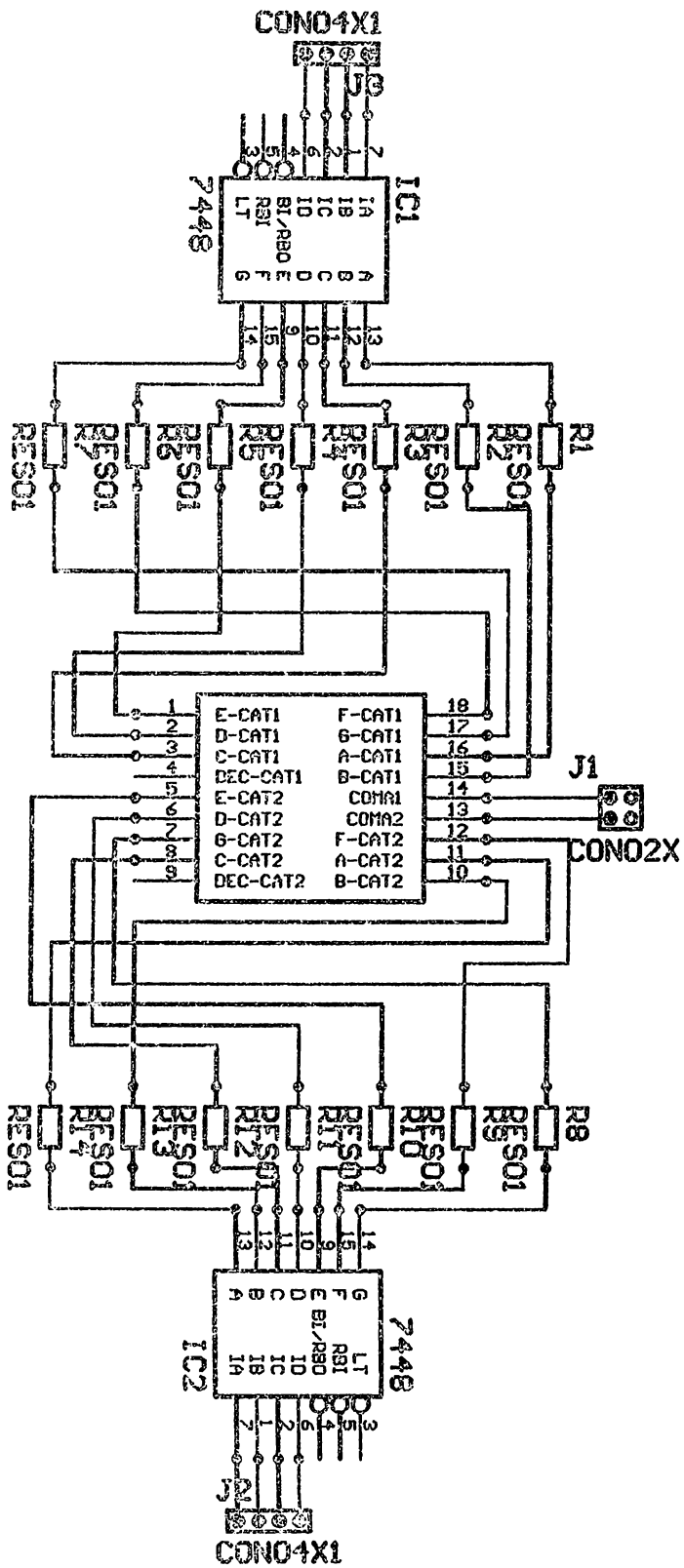


FIG. 21 PRESENTADORES

### **2.3.6 MEMORIA SOLAMENTE DE LECTURA PROGRAMABLE Y BORRABLE**

La ROM programable y borrable (EPROM) sirve en el circuito de medición de la temperatura para convertir la palabra digital binaria procedente del ADC 0804 a código BCD debido que en el mercado solo se encuentran disponibles de decodificadores de BCD a presentador de 7 segmentos y no de binario a 7 segmentos.

Esta EPROM (IC3, fig 20) tiene conectados sus entradas de direcciones (A0 - 010) a las salidas del ADC 0804 (DB0 - DB7) y con la salida de datos (D0-D7) se obtiene la palabra digital de entrada, convertida a código BCD lista para ser decodificada y presentada con el objeto de observar la temperatura sensada por el termistor, que sera la temperatura de la cámara interior de la Incubadora Bacteriológica.

El proceso para programar una localidad en una EPROM es el siguiente:

1. Aplicar la dirección deseada a las entradas de dirección
2. Aplicar la palabra de datos de 8 bits deseada a los terminales de datos D7 - D0. Estas terminales de datos funcionarán como entradas en el modo de programa (OE en alto).
3. Aplicar una pulsación de 50 ms BAJA a ALTA a CE. En la terminación de esta pulsación, la localidad de dirección seleccionada debe almacenar la palabra de datos aplicada.

Una vez que ha sido programada una EPROM, si se desea puede borrarse y reprogramarse. Estas memorias pueden ser borradas solamente exponiéndola a la luz ultravioleta (UV) aplicada a través de una ventana en el integrado.

## ANEXO I

### DECODIFICADOR BINARIO - BCD

Programa en lenguaje de máquina de la memoria EPROM, la cual funciona como un decodificador de binario a BCD para lograr la comparación de magnitud de palabra digital con los datos introducidos por medio del teclado.

#### Dir / Date

00 / 00  
01 / 01  
02 / 02  
03 / 03  
04 / 04  
05 / 05  
06 / 06  
07 / 07  
08 / 08  
09 / 09  
0A / 10  
0B / 11  
0C / 12  
0D / 13  
0E / 14  
0F / 15  
10 / 16  
11 / 17  
12 / 18  
13 / 19  
14 / 20  
15 / 21  
16 / 22  
17 / 23  
18 / 24  
19 / 25  
2A / 26

## ASPECTO ECONOMICO

A continuación se presenta un listado de los elementos electrónicos que componen el circuito de la incubadora bacteriológica, su costo individual y total. Se ha incluido los costos en la fabricación del gabinete para obtener un costo global de la fabricación de este equipo.

TABLA VI  
COSTO TOTAL DEL PROYECTO

No. DE UNIDADES	COMPONENTE	COSTO
90	resistencia	\$36.00
4	diodo de propósito general	\$8.00
7	condensador 0.01 $\mu$ F	\$14.00
1	condensador 22 $\mu$ F	\$3.00
1	condensador 1 $\mu$ F	\$3.00
5	trimpot	\$25.00
2	condensador 2,200 $\mu$ F	\$20.00
4	transistor 2N2222	\$24.00
1	puñ	\$16.00
2	display	\$72.00
1	LM555	\$3.00
3	LM778	\$36.00
4	LM741	\$40.00
1	LM74245	\$19.00
1	latch 8308	\$36.00
1	LM74147	\$25.00
1	LM7404	\$12.00
1	4072	\$15.00
2	LM7476	\$38.00
2	LM7448	\$32.00
2	LM7447	\$32.00
1	EPROM 2716	\$90.00
1	ADC 0804	\$75.00
1	optoisolador 8047	\$24.00
1	ECG7805	\$12.00
1	ECG7905	\$12.00

No. DE UNIDADES	COMPONENTE	COSTO
1	ECG56006	₱50.00
1	punte de diodos	₱28.00
1	transformador	₱40.00
1	switch	₱10.00
1	fusible	₱2.00
1	portafusible	₱5.00
1	diodo led	₱2.00
1	placa para circuito impreso	₱30.00
1	percloruro de hierro	₱26.00
1	plumón para impreso	₱20.00
1	teclado	₱25.00
1	lamina de acero inoxidable	₱750.00
1	lamina de aluminio	₱325.00
--	mano de obra (gabinete)	₱500.00
TOTAL		₱2535.00

## CONCLUSIONES

Se puede concluir que el sistema de control todo o nada puede servir para la realización de estos equipos por su poca complejidad de los circuitos a implementar y por contar con un termostato de precisión que puede simplificar su construcción; pero tiene la desventaja de poseer mayor inercia térmica que el control proporcional, y mucho mayor tiempo de estabilización pudiéndose generar fluctuaciones de temperatura que pueden entorpecer el crecimiento adecuado del cultivo bacteriano.

También puede concluirse que si el sistema en que se desarrolla el cultivo se mantiene aislado del ambiente conservando su propio medio de temperatura, este sistema puede semejarse cada vez mejor al control de temperatura biológico en el cual se desarrollan diversos organismos en una forma adecuada. Así también se incurre en un mayor ahorro de energía ya que la potencia entregada al sistema será mucho menor manteniéndose la etapa de potencia apagada, ya que el medio conserva su temperatura en una forma estable. Solo manteniendo encendida la etapa de baja potencia la cual no llega a consumir más de 500 mA, implicando ahorro de dinero en la operación de cultivo.

## RECOMENDACIONES

Entre algunas de las recomendaciones que se pueden sugerir para mejorar el sistema es la utilización de un control proporcional integral derivativo. No se recomienda usar por si solo un control proporcional derivativo o proporcional integral. En el primer caso, el control derivativo ofrece una mayor velocidad de respuesta ante cambios de error produciendo una acción correctora efectiva ante cambios rápidos de error ya que este control sensa la razón de tiempo de cambio del error, pero posee la desventaja de ser muy sensible al ruido ya que su conformación derivativa lo vuelve un filtro pasa alto que puede incrementar la ganancia ante señales de ruido de alta frecuencia.

En el segundo caso utilizando el control proporcional integral se cuenta con la ventaja de disminuir el error a cero ya que la magnitud del error se sigue mediante la parte proporcional y, la parte integral sensa la existencia del error a medida que pasa el tiempo moviendo un poco mas la corrección en dirección de eliminar el error, a medida que pasa el tiempo, el error llega a cero y la integral no aumenta mas. La desventaja de este control es su lentitud en estabilizarse al error cero y, por el seguimiento del error, adicionando la integral se crean overshoot, el cual disminuye a medida que se estabiliza el sistema. Es por ello que se recomienda en control proporcional integral derivativo ya que cada uno contribuye a realizar su parte, y las desventajas de cada uno en conjunto se minimizan.

Ademas se recomienda la mejora en el termómetro digital con la utilización de sensores semiconductores como el LM35 el cual no es fácil de adquirir en el país, pero su respuesta es lineal sobre un ancho de banda de temperatura aceptable, ademas de su precisión de respuesta ante cambios de temperatura. En el caso de obtener un termistor no lineal, proceder a linealizarlo mediante alguna técnica efectiva. Por ultimo, se recomienda la calibración periódica del equipo o comprobación de su funcionamiento, ya que cualquier elemento electrónico tiende a cambiar con el tiempo.

## GLOSARIO

- **Anticuerpo** : sustancia defensiva creada por el organismo y que se opone a la acción de las bacterias, toxinas, etc.
- **Antígeno** : sustancia nociva al organismo (microbio, sustancia química u orgánica, etc.) que provoca la formación de anticuerpos.
- **Bacteria** : microorganismo vegetal unicelular, de forma alargada (bacilo) o esférica (coco).
- **Coagulación** : efecto de solidificar un líquido.
- **Fibrina** : materia albuminoidea , blanca, insípida e inodora que se forma en la sangre para coagularla.
- **Hematología**: estudio de la estructura histológica, la composición química y las propiedades físicas de la sangre.
- **Incubadora** : aparato o local para la incubación artificial.
- **Inoculación** : introducción en el organismo de un virus, vacuna, suero o veneno.
- **Microbiología** : ciencia que estudia los microbios.
- **Rickettsiales** : orden de bacterias establecido por Howard Taylor Ricketts. Comprende organismos de reducido tamaño, cuyo diámetro oscila entre 1 y 5 micras. Presentan características comunes a las bacterias y a los virus (son parásitos intercelulares obligados); se cultivan en embriones, y constituyen su hábitat normal los insectos, animales superiores y el hombre.
- **Serología** : estudio de los sueros.
- **Vacuna** : preparación microbiana atenuada en su virulencia que inoculada a una persona o animal, le inmuniza contra una enfermedad determinada.
- **Virus** : microbio invisible con el microscopio ordinario, causante de las enfermedades contagiosas.

## BIBLIOGRAFIA

- Robert F. Coughlin / Frederick F. Driscoll  
Circuitos Integrados Lineales y Amplificadores Operacionales  
(Prentice Hall Hispanoamericana, S.A., 1987)
- Ronald J. Tocci  
Sistemas Digitales, Principios y Aplicaciones  
(Prentice Hall Hispanoamericana, S.A., 1987)
- Jorge Antonio Ramirez Rajo  
Procedimientos de Construcción de Equipo de Laboratorio Clínico en El Salvador  
Tesis para optar el grado de Ingeniero Electricista  
Biblioteca de Ingeniería Eléctrica, Universidad de El Salvador  
1991
- Philips ECG  
Master Replacement Guide, 1991
- Fisher Scientific  
The Fisher Catalog, 1990
- Cole-Parmer Instrument Company  
1992 Catalog Supplement
- "Usando El NTC", Saber Electrónica 34, Pag. 15-19
- Delton T. Horn  
The Thyristor Book with 49 Projects  
Tab Books, Blue Ridge Summit, PA. 1990
- Robert Resnick / David Holliday  
Física parte 1, capítulos 21 y 22  
Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V., 1980

- Manual de Operaciones de Sistema de Control Eléctrico  
usado en máquina de cubrimiento JIDENCO  
por: Mario Vides, Ingeniero en Electrónica  
Febrero/1991

- Electrónica Industrial. Dispositivos y Sistemas  
Timothy J. Maloney  
Prentice Hall  
1a. Edición 1983

## **ANEXO II**

# TYPES TIC226B, TIC226D SILICON BIDIRECTIONAL TRIODE THYRISTORS

TYPES TIC226B, TIC226D  
BULLETIN NO. DL-571 11489, APRIL 1971

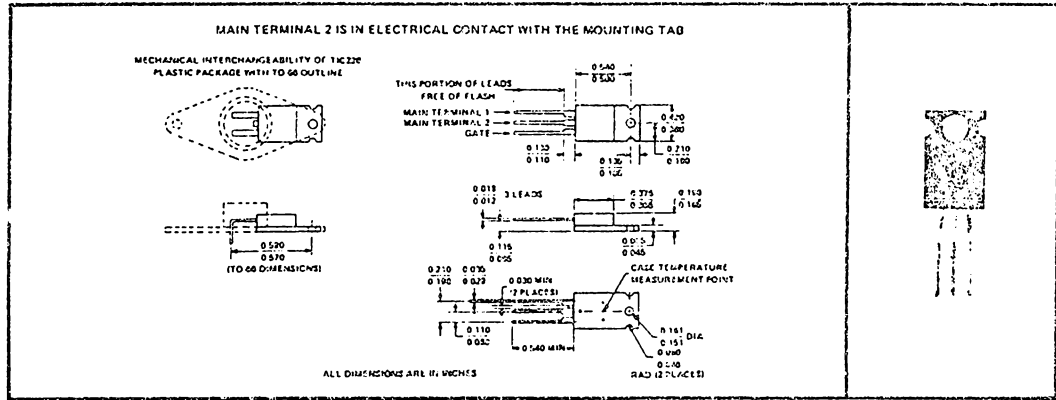
8 A RMS @ 200 V and 400 V  
TRIACS

for  
HIGH-TEMPERATURE, HIGH-CURRENT, and HIGH-VOLTAGE APPLICATIONS  
• Typ  $dv/dt$  of 500 V/ $\mu$ s at 25°C

## description

These devices are bidirectional triode thyristors (triacs) which may be triggered from the off-state to the on-state by either polarity of gate signal with Main Terminal 2 at either polarity.

## mechanical data



## absolute maximum ratings over operating case temperature range (unless otherwise noted) †

	TIC226B	TIC226D	UNIT
Repetitive Peak Off-State Voltage, $V_{DRM}$ (See Note 1)	200	400	V
Full-Cycle RMS On-State Current at (or below) 85°C Case Temperature, $I_T(RMS)$ (See Note 2)	8		A
Peak On-State Surge Current, Full-Sine-Wave, $I_{TSM}$ (See Note 3)	70		A
Peak On-State Surge Current, Half-Sine-Wave, $I_{TSM}$ (See Note 4)	80		A
Peak Gate Current, $I_{GM}$	1		A
Peak Gate Power Dissipation, $P_{GM}$ , at (or below) 85°C Case Temperature (Pulse Width < 200 $\mu$ s)	2.2		W
Average Gate Power Dissipation, $P_{G(av)}$ , at (or below) 85°C Case Temperature (See Note 5)	0.9		W
Operating Case Temperature Range	-40 to 110		°C
Storage Temperature Range	-40 to 125		°C
Load Temperature 1/16 Inch from Case for 10 Seconds	230		°C

- NOTES: 1. These values apply bidirectionally for any value of resistance between the gate and Main Terminal 1.  
2. This value applies for 50-Hz to 60-Hz full-sine-wave operation with resistive load. Above 25°C derate according to Figure 2.  
3. This value applies for one 60-Hz full sine wave when the device is operating at (or below) the rated value of on-state current. Surge may be repeated after the device has returned to original thermal equilibrium. During the surge, gate control may be lost.  
4. This value applies for one 60-Hz half sine wave when the device is operating at (or below) the rated value of on-state current. Surge may be repeated after the device has returned to original thermal equilibrium. During the surge, gate control may be lost.  
5. This value applies for a maximum averaging time of 16.3 ms.

† All voltage values are with respect to Main Terminal 1.

TEXAS INSTRUMENTS  
INCORPORATED  
POST OFFICE BOX 5012 • DALLAS, TEXAS 75212

7-61

SERIES	TIC216	UNIT
MIN	TYP	MAX
	±2	mA
	5	
	-5	mA
	-5	
	10	
	2.2	
	-2.2	V
	-2.2	
	3	
		V
	±1.7	
	30	mA
	-30	
	50	mA
	-20	

lects, separate from  
ing characteristics.

SERIES	TIC216	UNIT
MAX		
	5.1	°C/W
	62.5	

PRINTED IN USA

RIGHT TO MAKE CHANGES AT ANY TIME  
TO SUPPLY THE BEST PRODUCT

# TYPES TIC226B, TIC226D

## SILICON BIDIRECTIONAL TRIODE THYRISTORS

Electrical characteristics at 25°C case temperature (unless otherwise noted)†

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
$I_{DRM}$ Repetitive Peak Off-State Current	$V_{DRM}$ = Rated $V_{DRM}$ , $I_G = 0$ , $T_C = 110^\circ\text{C}$			±2	mA
$I_{GTM}$ Peak Gate Trigger Current	$V_{supply} = +12\text{ V}$ , $R_L = 10\ \Omega$ , $t_{p(g)} \geq 20\ \mu\text{s}$		15	50	mA
	$V_{supply} = +12\text{ V}$ , $R_L = 10\ \Omega$ , $t_{p(g)} \geq 20\ \mu\text{s}$		-25	-50	
	$V_{supply} = -12\text{ V}$ , $R_L = 10\ \Omega$ , $t_{p(g)} \geq 20\ \mu\text{s}$		-30	-50	
	$V_{supply} = -12\text{ V}$ , $R_L = 10\ \Omega$ , $t_{p(g)} \geq 20\ \mu\text{s}$			75	
$V_{GTM}$ Peak Gate Trigger Voltage	$V_{supply} = +12\text{ V}$ , $R_L = 10\ \Omega$ , $t_{p(g)} \geq 20\ \mu\text{s}$		0.9	2.5	V
	$V_{supply} = +12\text{ V}$ , $R_L = 10\ \Omega$ , $t_{p(g)} \geq 20\ \mu\text{s}$		-1.2	-2.5	
	$V_{supply} = -12\text{ V}$ , $R_L = 10\ \Omega$ , $t_{p(g)} \geq 20\ \mu\text{s}$		-1.2	-2.5	
	$V_{supply} = -12\text{ V}$ , $R_L = 10\ \Omega$ , $t_{p(g)} \geq 20\ \mu\text{s}$			1.2	
$V_{TM}$ Peak On-State Voltage	$I_{TM} = \pm 12\text{ A}$ , $I_G = 100\text{ mA}$ , See Note 6			±2.1	V
$I_H$ Holding Current	$V_{supply} = +12\text{ V}$ , $I_G = 0$ , Initiating $I_{TM} = 500\text{ mA}$		20	60	mA
	$V_{supply} = -12\text{ V}$ , $I_G = 0$ , Initiating $I_{TM} = -500\text{ mA}$		-30	-60	
$I_L$ Latching Current	$V_{supply} = +12\text{ V}$ , See Note 7		30	70	mA
	$V_{supply} = -12\text{ V}$ , See Note 7		-40	-70	
$dv/dt$ Critical Rate of Rise of Off-State Voltage	$V_{DRM}$ = Rated $V_{DRM}$ , $I_G = 0$ , $T_C = 110^\circ\text{C}$		500		V/ $\mu\text{s}$
$dv/dt$ Critical Rate of Rise of Commutation Voltage	$V_{DRM}$ = Rated $V_{DRM}$ , $I_{TRM} = \pm 12\text{ A}$ , $T_C = 85^\circ\text{C}$ , See Figure 3	5			V/ $\mu\text{s}$

† All voltage values are with respect to Main Terminal 1.

NOTES: 6. This parameter must be measured using pulse techniques.  $t_w < 1\text{ ms}$ , duty cycle  $< 2\%$ . Voltage-sensing contacts, separate from the current-carrying contacts, are located within 0.125 inch from the device body.

7. The trigs are triggered by a 15-V (open-circuit amplitude) pulse supplied by a generator with the following characteristics:  $R_G = 100\ \Omega$ ,  $t_w = 20\ \mu\text{s}$ ,  $t_r < 15\text{ ns}$ ,  $t_f < 15\text{ ns}$ ,  $f = 1\text{ kHz}$ .

### Thermal characteristics

PARAMETER	MAX	UNIT
$R_{\theta JC}$ Junction-to-Case Thermal Resistance	1.8	$^\circ\text{C/W}$
$R_{\theta JA}$ Junction-to-Free-Air Thermal Resistance	62.5	

The rate of rise of current points.

The critical rate of rise following conduction to this failure to switch to load.

MAIN-  
CUI

MAIN-1  
VO

NOTE A: The gate-current pulse is so that the off-state-volts

**MM2716 16,384-Bit (2048 x 8) UV Erasable PROM**

MM2716

Parameter/Order Number	MM2716	MM2716 I	MM2716F
Access Time (ns)	450	350	450
V <sub>CC</sub> Power Supply	5V ± 5%	5V ± 10%	5V ± 5%

**General Description**

The MM2716 is a high speed 16K UV erasable and electrically reprogrammable EPROM, ideally suited for applications where fast turnaround and pattern experimentation are important requirements.

The MM2716 is packaged in a 24-pin dual in line package with transparent lid. The transparent lid allows the user to expose the chip to ultraviolet light to erase the bit pattern. A new pattern can be programmed into the device by following the programming procedure.

This EPROM is fabricated with the reliable, high volume, time proven, H channel MOS silicon gate technology.

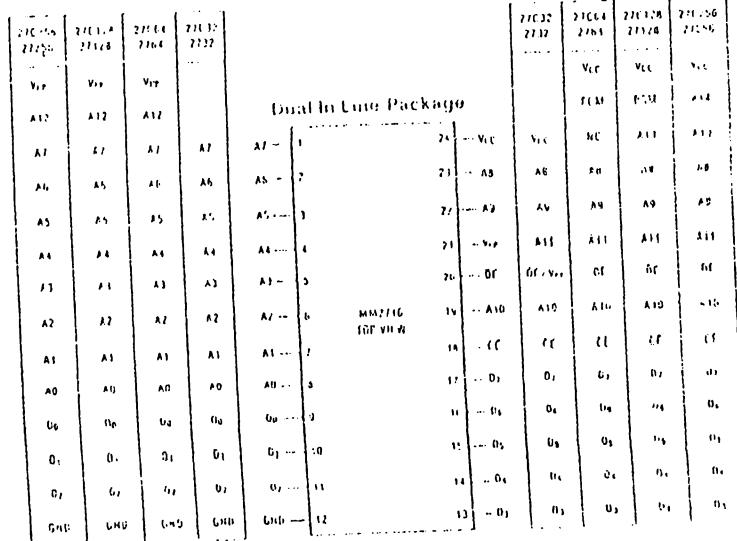
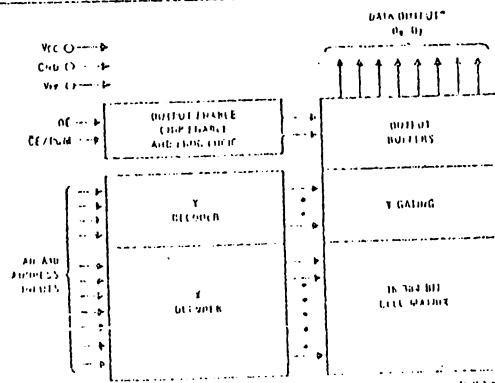
**Features**

- Access time down to 350 ns
- Low power consumption  
Active power: 525 mW max  
Standby power: 132 mW max (75% savings)
- Single 5V power supply
- Extended temperature range available (MM2716E), -40°C to +85°C, 450 ns ± 5% power supply
- On-chip comparators to Northbrook, Elmhurst, and Foxboro, MA
- Static CMOS process
- TTL compatible inputs/outputs
- TRI-STATE<sup>®</sup> output

**Block and Connection Diagrams**

**Pin Names**

A0 - A14	Addresses
CE	Chip Enable
OE	Output Enable
O <sub>0</sub> - O <sub>7</sub>	Outputs
PGM	Program
NC	No Connect



Dual In Line Package

Note: National's 24-pin package I/O configurations are shown in the diagram. Refer to the MM2716 pinout.