

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

"PROTOTIPO PARA MEDICION Y CONTROL
DE TEMPERATURA DE LIQUIDOS
EN FORMA DIGITAL"

TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERIA EN LA
ESPECIALIZACION ELECTRONICA Y CONTROL

José Xavier Granizo Mogollón

Quito, abril 1990

CERTIFICACION

Certifico que el presente trabajo ha sido realizado por el Sr. José Xavier Granizo Mogollón, bajo mi dirección.

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Luis Montalvo", written over a horizontal line.

ING. LUIS MONTALVO R.

AGRADECIMIENTO

Al Sr. Ing. Luis Montalvo R.

INDICE

	PAGINA
INTRODUCCION	1
CAPITULO I	3
1.1 Diagrama de bloques del sistema	3
1.2 Transductor de temperatura	9
1.3 Acondicionador de señal	14
1.4 Adquisición de datos	29
1.5 Actuador	33
CAPITULO II	55
2.1 Requerimientos del programa	55
2.2 Herramientas para desarrollo del programa	56
2.3 Diseño de los módulos del programa	58
CAPITULO III	78
3.1 Pruebas de la circuitería	78
3.2 Pruebas del programa	83
3.3 Pruebas finales del sistema	84
CAPITULO IV	88
REFERENCIAS	93

ANEXOS

- ANEXO A: Manual de Uso
- ANEXO B: Listados de Programas
- ANEXO C: Gráficos de los resultados experimentales
- ANEXO D: Tabla Temperatura vs. Resistencia de RTD

FIGURAS

FIGURA

- 1.1 Diagrama de control en lazo cerrado
- 1.2 Estructura de bloques del sistema
- 1.3 Puente de resistencias
- 1.4 RTD en una rama del puente
- 1.5 Circuito de excitación del puente de resistencias
- 1.6 Amplificador y filtro activo
- 1.7 Conversor de voltaje a corriente
- 1.8 Circuito de detección de RTD abierta
- 1.9 Circuito de actuación
- 1.10 Circuito de fuerza para calentamiento
- 1.11 Verificación de fases
- 1.12 Encendido de electroválvula
- 1.13 Fuentes de polarización

- 2.1 Organización de COPROTEM
- 2.2 MODULO 1: "Programa"
- 2.3 Ingreso de instrucciones
- 2.4 Control digital directo (Bloque principal)
- 2.5 Subrutina Estabilizar
- 2.6a. Subrutina Alcanzar
- 2.6b. Subrutina Alcanzar (cont.)
- 2.7 MODULO 2: "Parámetros"
- 2.8 Subrutinas de parámetros prefijados

2.9	MODULO 3: "Control manual"
2.10	MODULO 4: "Gráficos"
2.11	Mapa de COPROTEM
3.1	Ejemplo de secuencia térmica

TABLAS

TABLA

I	Características de materiales de termoresistencias
II	Selección de ganancia y rangos de voltaje para canales analógicos de entrada
III	Selección de rango de voltaje para canales analógicos de salida
IV	Selección de jumpers en DT2805 para configuración necesaria

INTRODUCCION

INTRODUCCION

El presente trabajo de Tesis, es parte del proyecto CONUEP-EPN #85-06 denominado: "Laboratorio de Instrumentación y Contrastación de la Facultad de Ingeniería Eléctrica". El mencionado Proyecto realizó una encuesta sobre Instrumentación en las industrias del país [1] y el resultado mostró que una de las variables controladas más comunes es la "temperatura de líquidos". En base a esto, se proyectó el diseño y construcción de un prototipo de laboratorio que involucrara la instrumentación de esta variable. El equipo diseñado pretende dotar a la Facultad de Ingeniería Eléctrica de los recursos necesarios para la enseñanza práctica de la materia de Instrumentación, realzando la importancia que tiene ésta en el campo industrial.

La concepción general del Proyecto, es la de tener equipos modulares intercambiables, por lo que el prototipo diseñado en esta Tesis comprende tres módulos separados: transmisor, controlador digital y actuador. El controlador digital por si solo, es de mucho interés puesto que la tendencia hacia el procesamiento digital en Instrumentación es evidente. La incorporación del computador personal y de los sistemas basados en microprocesadores a instrumentación, se ha incrementado en los últimos años, no solo en el campo de la adquisición de datos, sino también en los de control y análisis de procesos.

El CAPITULO I describe en detalle el diseño y operación de los circuitos electrónicos desarrollados, con la ayuda de diagramas de bloque y circuitales. El CAPITULO II, trata la concepción e implementación del programa de computación que realiza el Control Digital Directo del sistema. El CAPITULO III presenta los resul-

CAPITULO I

DISEÑO DE LA CIRCUITERIA

tados experimentales de cada componente del sistema, así como, del sistema completo. Finalmente, el CAPITULO IV puntualiza las características positivas del equipo, y también sus limitaciones. Se señalan además las recomendaciones para la utilización del equipo en posteriores investigaciones.

CAPITULO I

DISEÑO DE LA CIRCUITERIA

1.1 Diagrama de bloques del sistema

Los propósitos de desarrollar el diagrama de bloques del sistema son, por un lado definir claramente el funcionamiento del equipo y las partes que lo componen, y por otro dividir el diseño en varias etapas que puedan ser analizadas individualmente.

1.1.1 Definición del problema

Se tiene un tanque con capacidad para 24 kg de agua y se requiere controlar la temperatura del agua en el rango correspondiente al de agua líquida, es decir entre 0 y 100 °C. Si bien, el controlador puede trabajar en todo ese rango, el sistema en su conjunto tiene algunas limitaciones de orden práctico, como son:

- 1) Las resistencias de calentamiento cuentan con un termostato que impide subir la temperatura sobre los 65 °C.
- 2) La potencia de las resistencias calefactoras es limitada, lo cual incide en la velocidad de calentamiento.
- 3) La velocidad de enfriamiento se ve afectada por las características del intercambiador de calor.
- 4) El límite inferior de temperatura es impuesto por el tipo de refrigerante que usa el intercambiador de calor.

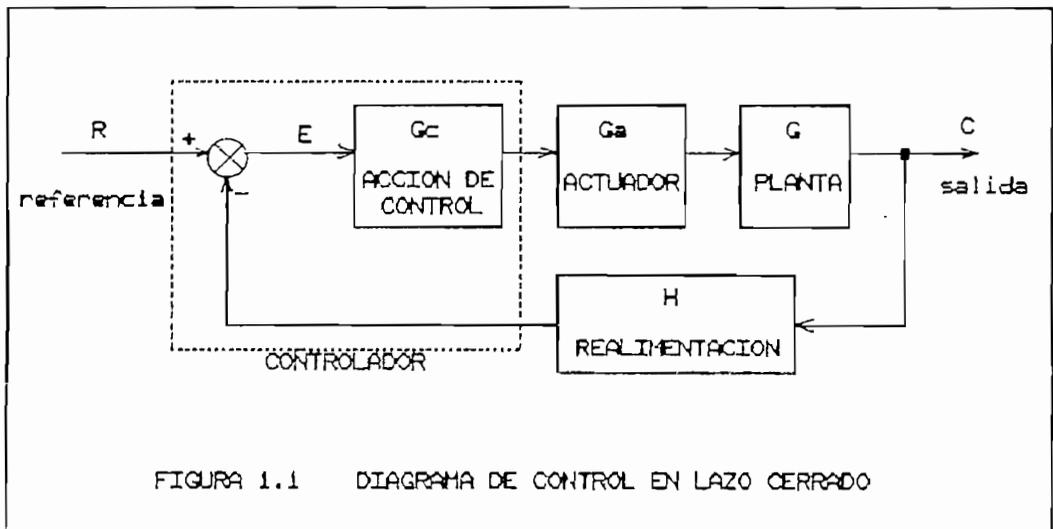
Las consideraciones expuestas imponen los siguientes parámetros extremos:

- MAXIMA TEMPERATURA: 65 °C
- MINIMA TEMPERATURA: 20 °C
- PENDIENTE DE CALENTAMIENTO MAXIMA: 1 °C/min
- PENDIENTE DE ENFRIAMIENTO MAXIMA: 1 °C/min

1.1.2 Solución: Control en lazo cerrado

El diagrama de control de la FIGURA 1.1, pese a estar en su forma más simple, muestra todos los bloques de que se compone el sistema, éstos son:

G (PLANTA) .- función de transferencia del tanque de agua.



Ga (ACTUADOR) .- función de transferencia del dispositivo que a partir de una orden proveniente del controla-

- dor actúa directamente sobre la planta, es decir calienta o enfría el agua.
- H (REALIMENTACION) .- función de transferencia del dispositivo que sensa el estado de la planta (temperatura del agua) y lo traduce en señal inteligible para el controlador (marcado con línea segmentada).
- CONTROLADOR .- dispositivo que tiene dos funciones básicas:
- 1) compara en cada instante el valor de referencia R con el que recibe de la realimentación, encontrando así el valor del error E .
 - 2) ejecuta de acuerdo a los diferentes valores de E en el tiempo, una acción de control G_c que tiende a eliminar dicho error en condiciones óptimas.
- R (REFERENCIA) .- señal de la misma naturaleza que la realimentación, correspondiente a la temperatura de consigna.
- C (SALIDA) .- temperatura del agua del tanque.

1.1.3 Interpretación física de los bloques del lazo de control

La PLANTA, cuya función de transferencia es G , es un tanque de acero con capacidad para 24 kg de agua. Tiene un aislante térmico de lana de vidrio que actúa como un conservador de calor en el interior del tanque. Tiene una tapa con cierre hermético lo que permite someter al tanque a presiones de hasta 100 psi (685,05 kPa).

La REALIMENTACION, de función de transferencia H , consta en términos generales de:

- a) Elemento primario (sensor o transductor).- dispositivo que es actuado desde un primer sistema con una forma de energía y entrega a un segundo sistema energía que es usualmente de otro tipo. Ejemplos de transductores son: la termocupla o termopar que transforma la energía térmica en fuerza electromotriz (f.e.m.) y la termoresistencia que convierte la variación de temperatura en variación de su resistencia eléctrica.
- b) Transmisor o acondicionador de señal.- es el dispositivo que manipula la señal entregada por el transductor traduciéndola a niveles y exigencias técnicas propias del controlador. Un transmisor puede ser algo tan simple como un puente de wheatstone o un divisor de tensión o algo más complejo como un sofisticado circuito electrónico con etapas de amplificación, filtros, etc. Dependiendo de los sistemas involucrados y demás consideraciones técnicas, estos y otros dispositivos podrían ser de naturaleza neumática, hidráulica, etc. y no solamente eléctrica.

El CONTROLADOR cuya función de transferencia es G_c , es la parte del sistema que ejecuta la acción de control. Por tanto, en su forma más primitiva estará compuesto de comparadores, mientras que para un sistema controlador mejorado, aparecerán elementos sumadores, integradores, multiplicadores, etc., es decir los elementos capaces de manipular las señales, eléctricas por ejemplo, de acuerdo a la teoría de Sistemas de Control.

Es usual aprovechar de este bloque para incluir elementos adicionales que permitan comunicar al sistema

con el operador, por ejemplo: lecturas de temperatura, alarmas, mandos de interrupción, etc.

El ACTUADOR o elemento final de control es el elemento o conjunto de elementos capaces de modificar la variable del proceso (temperatura) conforme lo ordene el controlador. Son ejemplos de actuadores: servoválvulas acopladas con quemadores de combustible, resistores calefactores e intercambiadores de calor.

La REFERENCIA o valor de consigna puede confundirse dentro del bloque CONTROLADOR como uno de los elementos adicionales de comunicación con el operador. Puede ser tan sencillo como un voltaje de referencia seleccionado mediante un potenciómetro o algo más complejo como un generador de funciones en el tiempo.

1.1.4 Estructura de bloques del sistema

La tecnología a emplearse y ciertos requerimientos específicos en cada uno de los bloques del diagrama de control, delimitan al sistema de la siguiente forma:

- Elemento primario o sensor.- es una termoresistencia (RTD).
- Transmisor.- debe ser un dispositivo electrónico capaz de entregar señales en el rango normalizado para Instrumentación de 0 a 10 V en voltaje y de 4 a 20 mA en corriente.
- Controlador.- habiéndose optado por la tecnología digital, se debe realizar el control, como una alternativa, por medio de un computador personal. Para establecer comunicación entre el computador y los sistemas analógicos

(transmisor y actuadores), se utiliza la tarjeta DATA TRANSLATION DT2805 apropiada para trabajar en computadores IBM PC, IBM PC/XT, IBM PC/AT y computadores 100% compatibles con estos. La señal proveniente del transmisor ingresa a uno de los ocho canales diferenciales de entrada analógica de la tarjeta. El programa que se ejecuta en el computador manipula dicha señal digitalizada y mediante la misma tarjeta, se envía la señal de control por los canales analógicos de salida, hacia los actuadores.

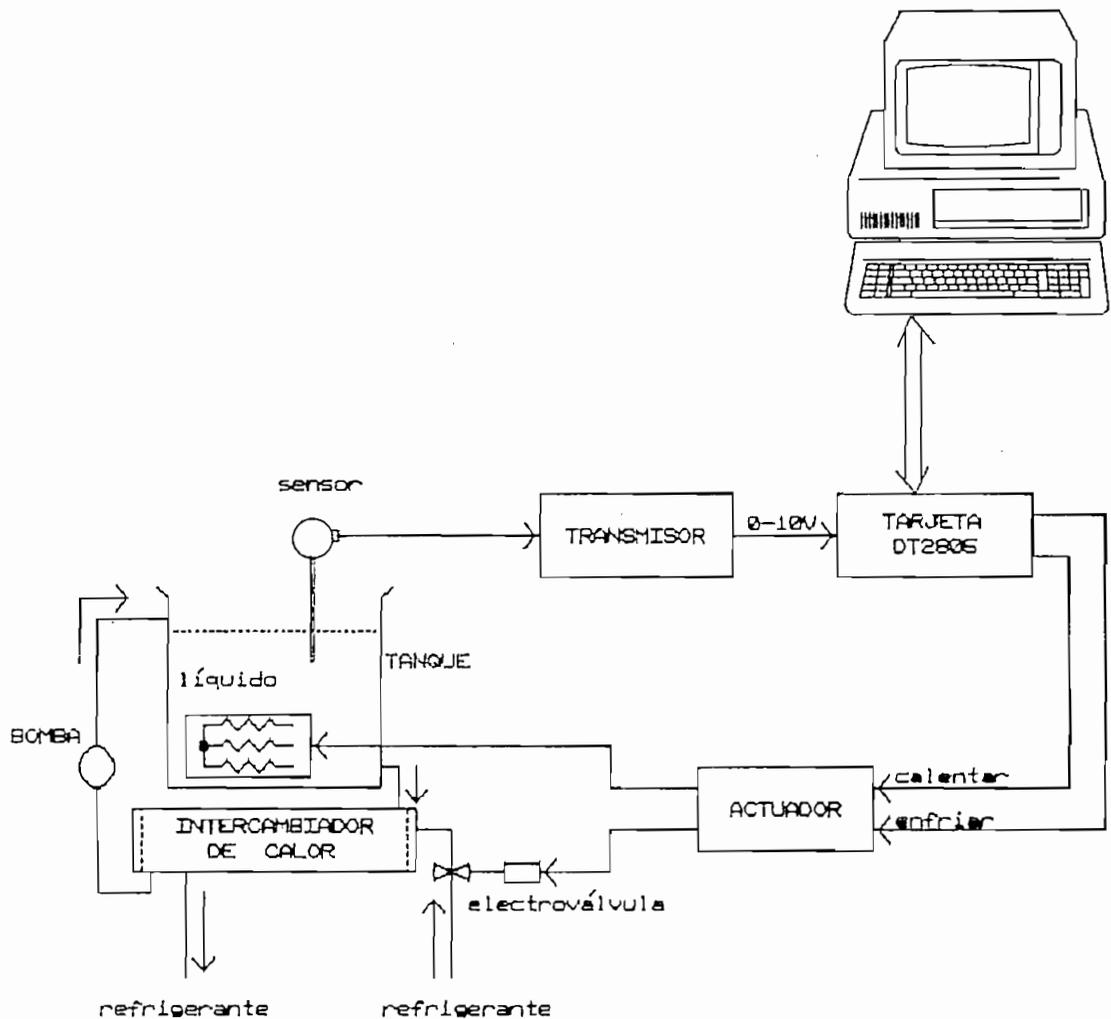


FIGURA 1.2 ESTRUCTURA DE BLOQUES DEL SISTEMA

El programa de computación desarrollado hace uso del paquete de subrutinas DATA TRANSLATION PCLAB para manejo de la tarjeta DT2805.

- Actuador.- es también un dispositivo electrónico el cual ejecuta para el calentamiento un control del tipo Ciclo Integral sobre resistencias eléctricas sumergibles conectadas a un sistema trifásico y para el enfriamiento un control ON-OFF sobre una electroválvula de paso en un sistema de recirculación e intercambio de calor.

La estructura de bloques del sistema se muestra en la FIGURA 1.2.

1.2 Transductor de temperatura

El elemento primario del sistema utilizado en el presente trabajo es un transductor de temperatura; específicamente, se trata de una termoresistencia también conocida como RTD (Resistance Temperature Detector). Con el propósito de conocer mejor a este elemento se hace un breve estudio de los transductores de temperatura en general y luego se dan datos específicos del que se utiliza aquí.

1.2.1 Breve estudio de transductores de temperatura

Se concreta este estudio a los transductores actuados por la variable física *temperatura* y que entregan una señal correspondiente a una variable eléctrica.

Desde el punto de vista de la energía, los transductores en general se clasifican en pasivos y activos.

El transductor pasivo o autogenerativo es aquel que tiene una entrada y una salida (i.e. dos puertos de energía). Toda la energía eléctrica a la salida es derivada de la de entrada; la termocupla o termopar se incluye en esta categoría. Puesto que la salida eléctrica está limitada por la energía de la variable física de entrada, tales transductores tienden a tener salidas de baja energía.

El transductor activo tiene a más de los dos puertos mencionados, una entrada eléctrica de excitación. Ejemplos de transductores térmicos que se incluyen aquí son las termoresistencias (RTD) y los sensores de temperatura en base a semiconductores (termistores).

En electrónica, ningún fenómeno es tan influyente en los circuitos como la temperatura. Consecuentemente, existen muchos fenómenos que pueden ser aprovechados para desarrollar operaciones como función de la temperatura. Los que serán brevemente discutidos aquí incluyen: expansión térmica (elementos bimetálicos e interruptores de columna de mercurio), generación de fuerza electromotriz (termocuplas) y efectos resistivos (RTD y termistores).

Interruptores térmicos bimetálicos. Son talvez los más elementales de los sensores eléctricos. Los dispositivos de este tipo utilizan metales con diferente coeficiente térmico de expansión para físicamente abrir o cerrar un contacto eléctrico a cierta temperatura escogida. Ejemplos familiares son los sensores de los termostatos utilizados en hornos y calentadores de agua.

Interruptores de columna de mercurio. Son generalmente clasificados junto con los bimetálicos debido a que el principio de funcionamiento es la expansión térmica diferencial; en este caso, una columna de mercurio en un tubo de vidrio. Finos alambres colocados en el camino de la columna de mercurio cierran el circuito eléctrico

cuando el mercurio hace contacto con ellos al alcanzar cierta temperatura.

Termocuplas o termopares. Son transductores que aprovechan el fenómeno de que el número de electrones libres en un pedazo de metal depende de la temperatura y la composición del metal. Dos pedazos de diferente metal en contacto isotérmico producirán una diferencia de potencial que es función de la temperatura. En general estos voltajes son muy pequeños. El cambio promedio de voltaje con la temperatura recorre entre 5 y 75 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$. Dentro de las características interesantes de estos dispositivos se pueden mencionar: económicos y resistentes, rápidos, razonablemente lineales en ciertas regiones y precisos.

Termoresistencias (RTD). Son elementos que consisten en un conductor sólido, usualmente en forma de alambre, caracterizado por un coeficiente de resistividad positivo. Los más usados son los de platino, níquel y aleación de hierro-níquel. En general los RTD son de bajo nivel de energía, no lineales, con excelente estabilidad y precisión cuando son utilizados con una adecuada instrumentación.

Termistores. Son elementos de material semiconductor que se caracterizan por un coeficiente de resistividad altamente negativo aunque es posible encontrarlos con coeficiente positivo (PTC). A una temperatura dada, el termistor actúa como un resistor; si la temperatura cambia debido a disipación interna o a variaciones de temperatura ambiente, la resistencia cambia concordantemente como una función de la temperatura, generalmente en forma exponencial. Los termistores son generalmente pequeños y rápidos en respuesta. [2]

1.2.2 Termoresistencia (RTD)

La manera en que la resistencia eléctrica de un elemento varía en función de la temperatura sirve como criterio de selección de una termoresistencia.

El coeficiente de temperatura (Temperature coefficient) designado α [$\Omega/\Omega^\circ\text{C}$] es la medida de esa variación, y viene dado por:

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1(T_2 - T_1)} \left[\frac{\Omega}{\Omega^\circ\text{C}} \right] \quad \text{Ec. [1.1]}$$

donde: R_1 = Resistencia a la temperatura T_1
 R_2 = Resistencia a la temperatura T_2

despejando: $R_2 = R_1 + \alpha R_1 (T_2 - T_1)$ Ec. [1.2]

Ecuación que es válida con la condición de que la zona $T_2 - T_1$ sea pequeña.

La Tabla I compara entre si los principales materiales de termoresistencias: [2]

Material	Rango de temperatura ($^\circ\text{C}$)	$\alpha_{\text{aprox. @25}^\circ\text{C}}$ ($1/^\circ\text{C}$)
Platino	-200 a +850	0,0039
Niquel	- 80 a +350	0,0067
Cobre	-200 a +260	0,0038
Hierro-Niquel	-200 a +260	0,0046

Tabla I.- Características de materiales de termoresistencias

De entre estas termoresistencias, la de platino ha sido generalmente considerada como el sensor de temperatura modelo, por su precisión y su repetitividad. Es además, el más extensamente utilizado en la industria. Puede proporcionar linealidad en zonas de más de 100 °C.

Las termoresistencias de platino se hallan en el mercado en valores que van desde decenas de ohmios hasta kilohmios, con coeficientes de temperatura de cerca de 0,004 [°C⁻¹] medido a 25 °C [2]. Además, se las puede encontrar de 2, 3 y 4 conductores. En las RTD de 3 y 4 conductores, los hilos redundantes sirven para compensar el calentamiento y la caída de tensión en ellos. Los de 4 conductores tienen un mejor comportamiento cuando la distancia es considerable, y cuando el rango de temperatura, produce variaciones de resistencia muy grandes. Ej. Para una RTD de 100 Ω a 0 °C, variaciones mayores a 50 Ω (130 °C).

La termoresistencia más común de todas es la conocida como Pt100, cuya nomenclatura indica:

Pt material: platino
100 resistencia = 100 Ω medidos a 0°C

Es precisamente esta termoresistencia la que se utiliza en el presente trabajo. Su tabla de temperatura versus resistencia se encuentra en el ANEXO D.

Las características físicas y eléctricas son:

- Configuración de 3 conductores.
- 100 Ω @ 0°C.
- Diámetro de la sonda: ¼"
- Longitud de la sonda: 11½"
- Máxima disipación de potencia: 1/4 w
- α = 0,00385 [1/°C]

1.3 Acondicionador de señal (Transmisor)

Definiendo en la forma más general, el transmisor es el instrumento que acopla al elemento primario con la etapa de control.

La tendencia de la Instrumentación es la de construir transmisores de propósito general, los cuales entreguen señales normalizadas en los rangos:

señal neumática

señal eléctrica

3 - 15 p.s.i.

0 - 10 V

4 - 20 mA

1.3.1 Consideraciones previas al diseño

a) Los cambios de resistencia en una termoresistencia ocasionados por la temperatura pueden ser sensados de dos maneras, ya sea directamente, como un cambio de voltaje a través de una resistencia, o mediante la salida de un puente de resistencias. Debido a la buena estabilidad para pequeños cambios se escoge el segundo método.

b) La zona de temperatura en la cual se trabaja es desde el punto de congelación del agua (0 °C) hasta los 100 °C, lo que significa una exigencia del transmisor en cuanto a linealidad en esta región.

c) La concepción general del Laboratorio de Instrumentación demanda que el transmisor sea un bloque independiente del controlador lo que hace evidente la adopción de la normalización en las señales de salida. Siendo el sistema de naturaleza electrónico, (para diferenciar de aquellos neumáticos), se diseña el transmisor para ser operado, a voluntad, en los rangos de voltaje: 0 a 10 V_{DC} o de corriente: 4 a 20 mA_{DC}.

d) En cuanto a polarización de los circuitos del transmisor, ésta es de $\pm 12 V_{DC}$ proveniente de una fuente exterior al bloque.

1.3.2 Puente de resistencias

El propósito del puente de resistencias (puente de Wheatstone), es el de detectar la desviación de la resistencia de la RTD con la temperatura, al ser colocada ésta en una de las ramas del puente, manteniendo fijas las otras tres. En la FIGURA 1.3, cuando $R_1/R_4 = R_2/R_3$, el puente se halla en equilibrio, es decir $E_o = 0$, independientemente de la excitación.

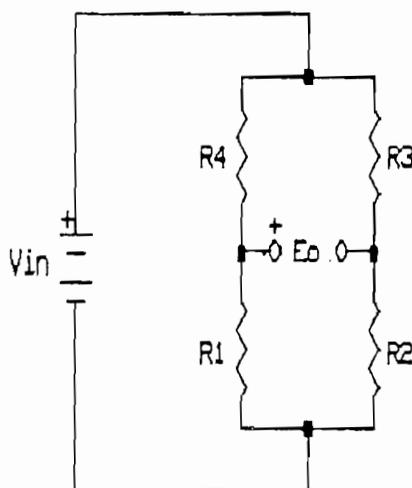


FIGURA 1.3 PUENTE DE RESISTENCIAS

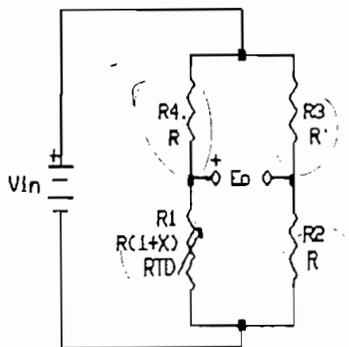
$$\text{Veamos: } E_o = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_4} \right) V_{in} - \left(\frac{R_2}{R_2 + R_3} \right) V_{in} \quad \text{Ec. [1.3]}$$

$$E_o = \frac{\frac{R_1}{R_4} - \frac{R_2}{R_3}}{\left(1 + \frac{R_1}{R_4}\right) \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right)} V_{in}$$

Si $\frac{R_1}{R_4} = \frac{R_2}{R_3}$

entonces $E_o = 0$ (equilibrio)

Si ahora se pone la RTD en lugar de R_1 , sabiendo que la resistencia de la RTD a 0°C es R y poniendo R_2 , R_3 y R_4 del mismo valor, se tiene de acuerdo a la FIGURA 1.4:



X = factor de variación de la RTD

FIGURA 1.4 RTD EN UNA RAMA DEL PUNTE

$$E_o = \frac{R(1+X)}{R + R(1+X)} V_{in} - \frac{1}{2} V_{in}$$

$$E_o = \frac{2 + 2X - 2 - X}{2(2 + X)} V_{in}$$

$$E_o = \frac{V_{in}}{4} \left(\frac{X}{1 + X/2} \right) \quad \text{Ec. [1.4]}$$

La ecuación [1.4] permite evaluar el rango de voltaje que entrega el puente, correspondiente al rango de temperatura en el cual se trabaja.

La RTD, como quedó dicho, tiene una resistencia de 100 Ω a 0 °C, luego, se pone el resto de resistencias del puente de 100 Ω , con lo cual se obtendrá el equilibrio del puente a 0 °C.

Para obtener el voltaje que entrega el puente a cualquier temperatura se utiliza la ecuación [1.4] y la tabla del ANEXO D.

1.3.3 Excitación del puente

El valor de voltaje de excitación del puente debe ser lo suficientemente alto, como para tener una alta sensibilidad del puente (valores grandes de E_o en la ecuación [1.4]), y por otro lado, lo más bajo posible para minimizar el efecto de autocalentamiento del elemento sensor causado por la corriente que lo atraviesa, (efecto Joule (I^2R)), y por tanto el error en la medición.

En base a un sistema de realimentación utilizando amplificadores operacionales, se logra una adecuada estabilidad en el voltaje de excitación. Se escoje un voltaje entre 1,5 V y 2 V.

En la FIGURA 1.5, el AO1 funciona en modo diferencial, con ganancia unitaria. El AO2, trabaja con una ganancia de -0,6 (variable con el pot R13), con lo cual se cierra el lazo de realimentación negativa.

El desplazamiento positivo del voltaje de salida

del AO2, para obtener la polarización del puente, es gracias al voltaje de referencia en su entrada positiva, con el zener de 4,7 V.

El puente de resistencias, presenta intrínsecamente una no linealidad, que puede ser corregida mediante una realimentación adicional al circuito de excitación, esta vez proveniente de la etapa de amplificación. En forma experimental se obtiene la magnitud y el signo de esta realimentación, pudiendo variarse en forma fina mediante el pot RB. Si la concavidad de la no linealidad es hacia abajo , la conexión de la realimentación es como se muestra en la FIGURA 1.5, (pin 3); si la concavidad es hacia arriba  la realimentación ingresa por la entrada negativa del AO2, (pin 2).

El circuito definitivo de puente de resistencias y excitación de puente se muestra en la FIGURA 1.5.

Para establecer las características del circuito de la FIGURA 1.5, que permiten el diseño de la etapa de amplificación se evalúan los siguientes parámetros:

- Voltaje de excitación del puente

$$V_{in} = 1,5 \text{ V}$$

- Linealidad

$$\text{De } 0 \text{ a } 100 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Voltaje de salida a 0 °C

$$\text{En la ecuación [1.4]: } X = 0 \quad (\text{ANEXO D})$$

$$V_{in} = 1,5 \text{ V}$$

$$E_{o_{min}} = 0 \text{ V}$$

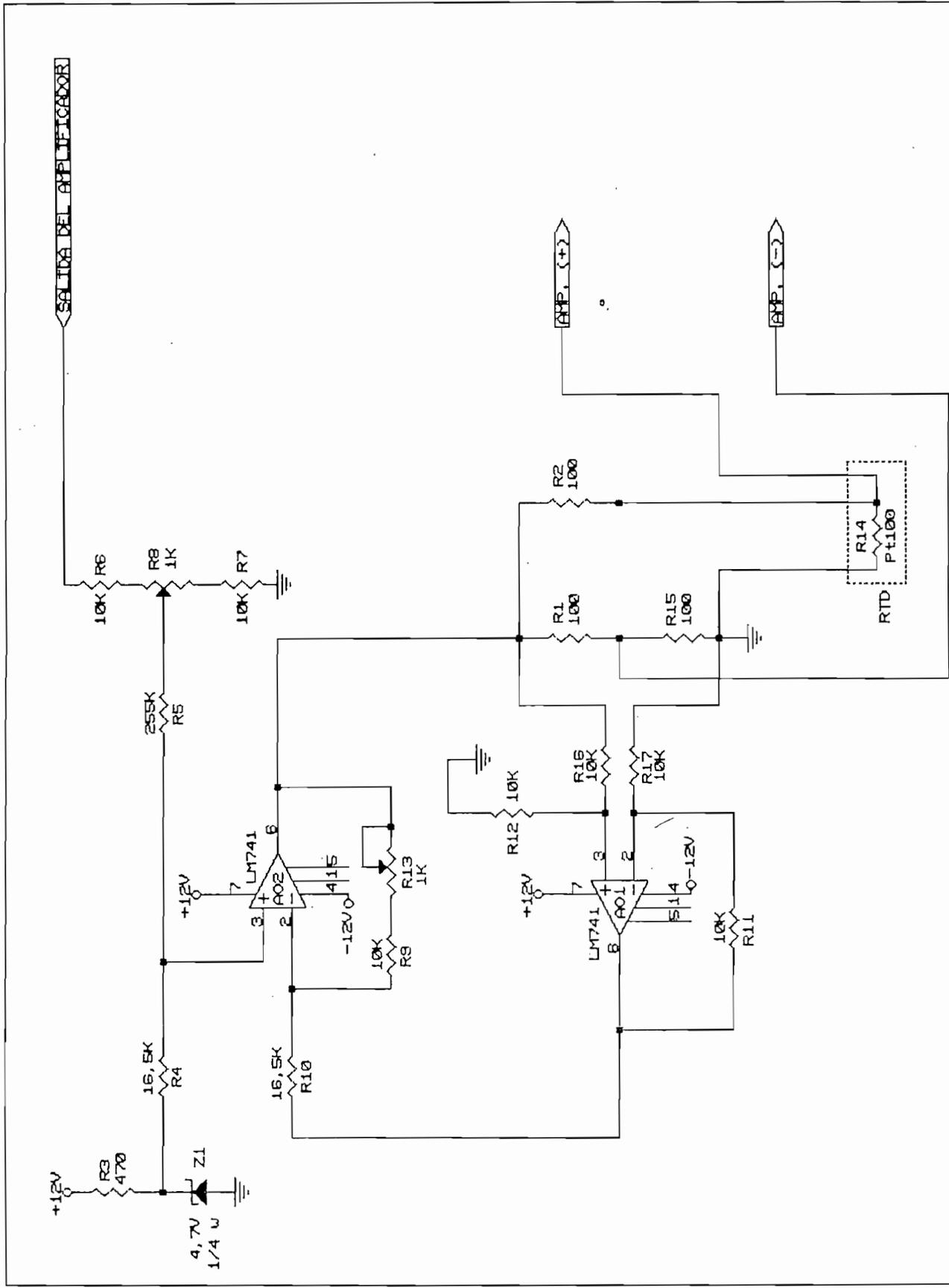


FIGURA 1.5 CIRCUITO DE EXCITACION DEL PUNTE DE RESISTENCIAS

- Voltaje de salida a 100 °C

En la ecuación [1.4]: $X = 38,50$ (ANEXO D)

$V_{in} = 1,5 \text{ V}$

$E_{o_{max}} = 0,713 \text{ V}$

1.3.4 Amplificador

El requerimiento mencionado en 1.3.1 literal c, delimita el cálculo del valor de la amplificación de la siguiente manera:

El voltaje máximo a la salida de la etapa de amplificación (10 V) se dará a los 100 °C. Luego, la ganancia total del amplificador será:

GANANCIA = voltaje de salida ÷ voltaje de entrada

GANANCIA = 10 V ÷ 0,713 V

GANANCIA = 14,03

Dicha ganancia se la divide en dos etapas de amplificación, en donde la primera consta de un amplificador de instrumentación, formado por cuatro amplificadores operacionales en el esquema de entrada diferencial y control de ganancia en la salida, al cual se le da una ganancia variable, (mediante un potenciómetro), de alrededor de 3,5. La ganancia A_1 de esta etapa viene dada por la ecuación [1.5].

En el circuito de la FIGURA 1.6, se considera:

$R_1 = R_2$, $R_4 = R_5$ y $R_6 = R_7$

luego:

$$A_1 = \left(1 + \frac{2R_1}{R_2} \right) \frac{R_3}{R_4} \times \frac{R_5}{R_{14}} \quad \text{Ec. [1.5]}$$

Si se hace:

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = R_7 = 10 \text{ k}\Omega$$

entonces A_1 depende únicamente de R_3 y R_{14} . Al poner $R_3 = 47,5 \text{ k}\Omega$ y R_{14} un potenciómetro de $1 \text{ M}\Omega$, se logra un rango de ganancia como el exigido. Es necesario, que todas las resistencias utilizadas en esta etapa, sean de tolerancia menor o igual al 1%.

La segunda etapa, está formada por el amplificador operacional A02, con una ganancia variable de alrededor de 4. El potenciómetro (R_{10}), que varía dicho valor, está en la entrada del amplificador y permite un ajuste fino de la ganancia.

La señal amplificada, ingresa a un filtro activo pasa bajos "Butterworth" de tercer orden, calculado para una frecuencia de corte de 2 Hz. [3]

El diagrama del circuito definitivo del amplificador se muestra en la FIGURA 1.6

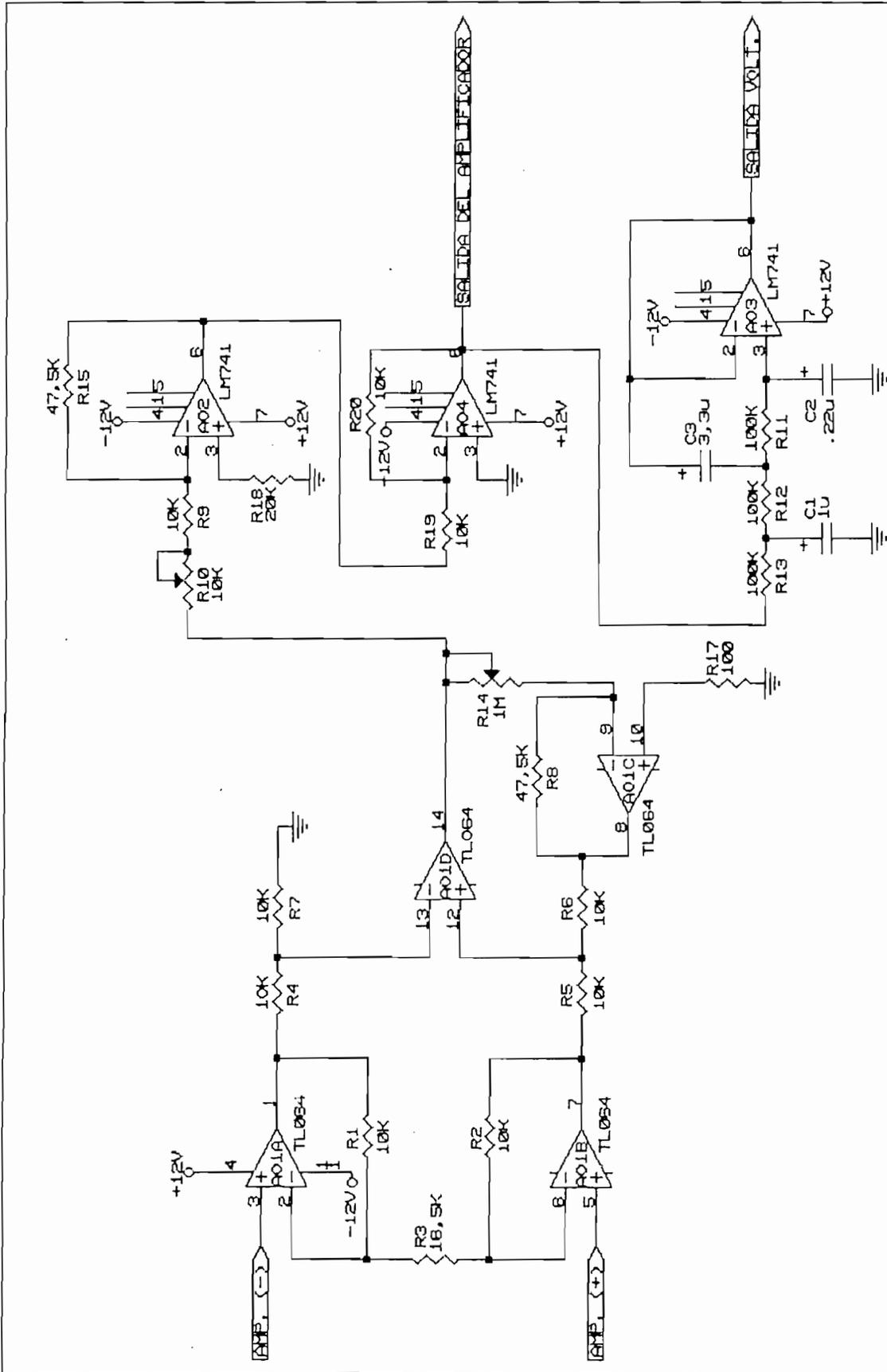


FIGURA 1.6 AMPLIFICADOR Y FILTRO ACTIVO

1.3.5 Conversor voltaje a corriente

Las principales ventajas de una transmisión alternativa en corriente son las siguientes:

- Eliminación del error por caída de tensión en la línea de transmisión, sobre todo cuando se trata de largas distancias.
- Posibilidad de conectar varios aparatos en serie, tales como galvanómetros analógicos, registradores, etc., sin que su conexión introduzca error a la medición.

Adicionalmente la transmisión de corriente se la realiza en el rango de 4 a 20 mA, que suma a las anteriores la siguiente ventaja:

- La correspondencia de los 0 V con los 4 mA, imposibilita confundir el valor mínimo en la escala, con la ausencia de señal a causa de una falla.

El diseño del conversor de voltaje a corriente se lo hace en base a amplificadores operacionales. Para conseguir la correspondencia 0 V con 4 mA, se introduce un desplazamiento de la señal de voltaje por medio de una referencia de 2,5 V (zener de 2,5 V). El rango de 16 mA (20mA - 4mA) se lo consigue con un juego adecuado de los valores de resistencias.

En la FIGURA 1.7, la corriente a través de R_z , (corriente de salida), deberá ser de:

$$I_{salida} = (1,6 V_{entrada} + 4) \text{ mA}$$

Las resistencias R_z y R_2 , forman un divisor de corriente, en donde se hace que circule por R_z , 100 veces la corriente que circula por R_2 , luego, para obtener en

R_2 una corriente de $(16 V_{\text{entrada}} + 40) \mu\text{A}$:

$$R_2 = 100 R_1$$

$$R_2 = 82 \Omega$$

$$R_2 = 8,2 \text{ K}\Omega$$

Puesto que la corriente de colector y emisor se pueden considerar iguales, se puede asumir que por R_4 circula la misma corriente que por R_2 . Se pone $R_4 = 6,8 \text{ K}\Omega$, con lo cual:

$$\frac{V_a - V_{\text{ce}}}{6,8 \text{ K}\Omega} = (16 V_{\text{entrada}} + 40) \mu\text{A}$$

Puesto que AO1 funciona como seguidor de tensión:

$$V_b = V_a - V_{\text{ce}}$$

y se debe conseguir que V_b sea:

$$V_b = (0,109 V_{\text{entrada}} + 0,272) \text{ V}$$

lo cual se logra mediante el circuito a la entrada de AO1 formado por el zener Z_1 de 2,5 V y el divisor de tensión entre R_7 y R_8 . Para ajustar este voltaje, y por tanto la I_{emisor} se varía el potenciómetro R_9 .

La FIGURA 1.7 muestra el circuito definitivo.

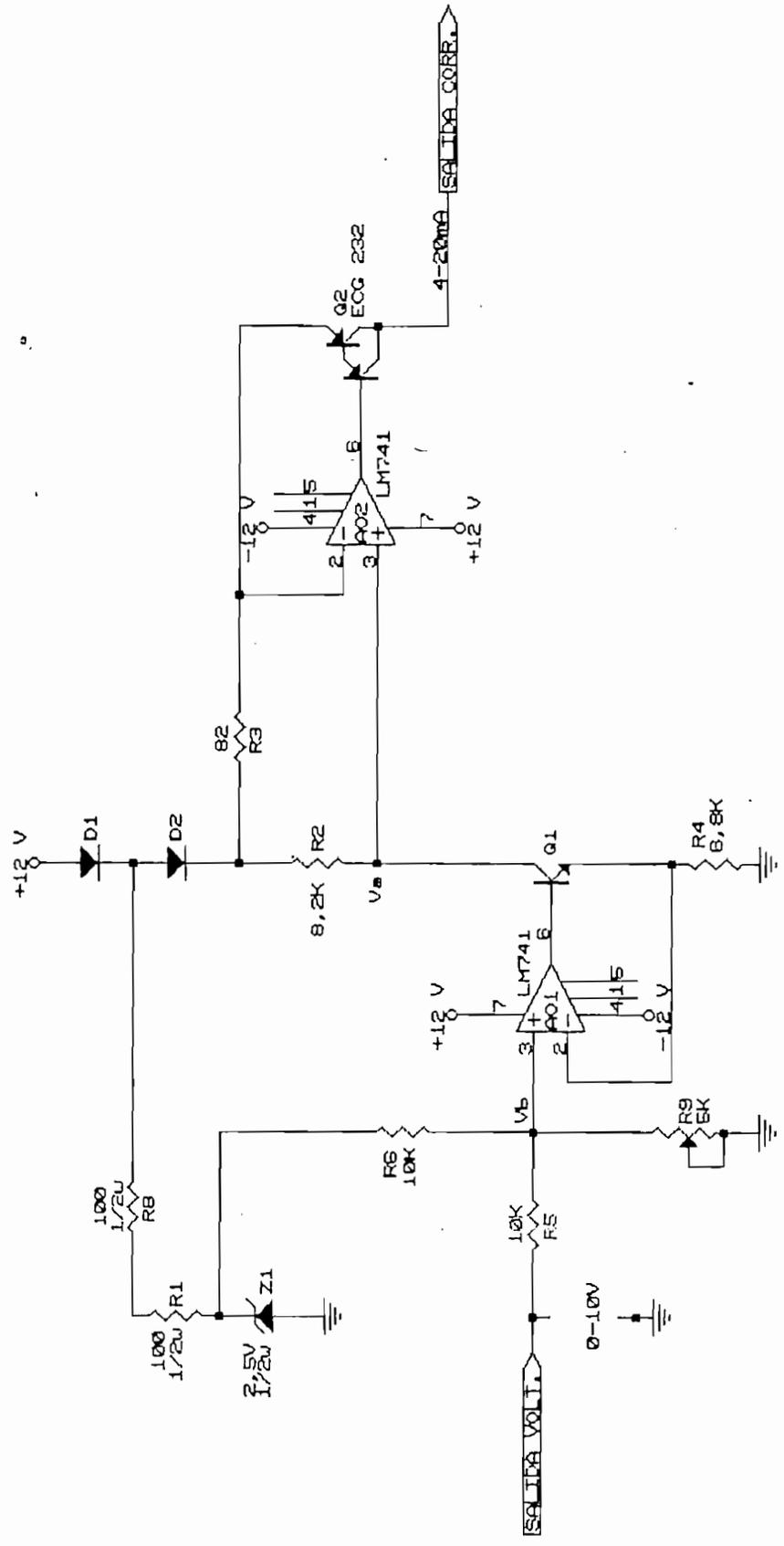


FIGURA 1.7 CONVERSOR DE VOLTAJE A CORRIENTE

1.3.6 Detección de RTD abierta

Cuando no se haya conectado la RTD o ésta se haya abierto por cualquier motivo, el transmisor lo indicará localmente encendiendo una señal luminosa (LED rojo) y al computador de control remoto, cerrando el contacto Ry1b.

En la FIGURA 1.4 si la R_1 (RTD) está abierta:

$$X \rightarrow \infty$$

luego en la ecuación [1.4]:

$$\lim_{X \rightarrow \infty} E_o = V_{in}/2 ; \quad V_{in} = 1,5 \quad \text{luego } E_o = 0,75 \text{ V}$$

Puesto que el voltaje máximo que entrega el puente en condiciones normales es $E_{o_{máx}} = 0,713 \text{ V}$, el detector de RTD abierta, es un comparador de voltaje que cambia de estado al superar dicho voltaje.

Utilizando el mismo criterio, se compara la señal ya amplificada, cuyo valor máximo en condiciones normales es 10 V . En la FIGURA 1.8 el AO1 funciona como comparador. El voltaje de referencia al cual el AO1 cambia de estado (satura negativamente), viene dado por las resistencias R_2 y R_3 :

$$R_2 = 15 \text{ K}$$

$$R_3 = 170 \text{ K}$$

es decir: $V_{límite} = V_a = 10,05 \text{ V}$.

En condiciones normales AO1 está saturado positivamente ($V_b \approx 12 \text{ V}$), luego D2 está abierto y el transistor Q1 se satura. Esto permite que aparezcan aproximadamente 24 V en los terminales de la bobina del relé Ry1 y que circule por la misma una corriente de aproximadamente 25 mA ($R_{R-1} \approx 900 \ \Omega$); condición suficiente para que la

bobina se active. En el circuito de la FIGURA 1.8 se observa que, para accionar la mencionada bobina, es necesario en primer lugar, que el operador presione el botón SW1. Desde otro punto de vista, la condición de que Q1 esté saturado es necesaria para poder encender la bobina de RY1, al presionar SW1.

El contacto RY1a, es el enclavamiento del sistema. Una vez activado, el apagado de la bobina dependerá de que el comparador AO1 cambie de estado, (sature negativamente), produciendo el corte de Q1, o de que manualmente el operador presione el botón SW2.

Las indicaciones visuales son de la siguiente manera:

- LED D6 encendido.- indica que el transmisor está polarizado con una fuente DC de ± 12 V.
- LED D1 encendido.- indica que la RTD está abierta.
- LED D5 encendido.- indica que el equipo está transmitiendo la lectura de temperatura.
- LED D5 apagado.- indica que el equipo no está transmitiendo.

La FIGURA 1.8 muestra el diagrama del circuito definitivo.

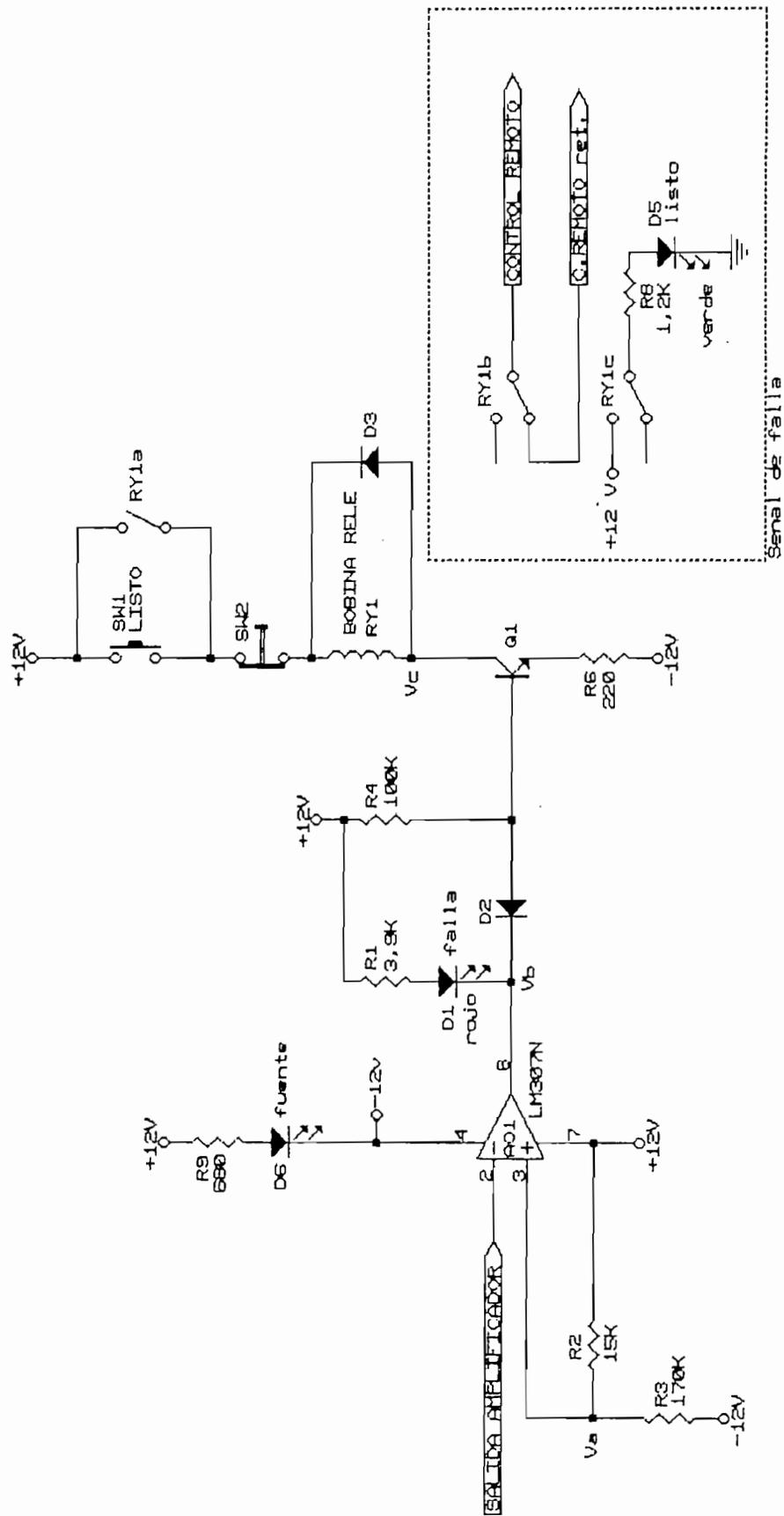


FIGURA 1.8 CIRCUITO DE DETECCION DE RTD ABIERTA

1.4 Adquisición de datos (digitalización)

La digitalización, es el bloque que permite al computador acceder a la información enviada por el transmisor en forma analógica. El mismo bloque hace posible enviar información analógica al actuador desde el computador.

1.4.1 Tarjeta DATA TRANSLATION DT2805

El sistema de adquisición de datos se realiza por medio de la tarjeta DATA TRANSLATION DT2805. Esta tarjeta es un sistema conversor Analógico-Digital y Digital-Analógico, para computadores personales IBM y compatibles. La tarjeta se inserta en alguna de las ranuras de expansión del sistema, dentro del computador y puede ser programada por éste, para realizar conversiones A/D o D/A, o transferencias digitales de entrada y de salida. Las características de la tarjeta se detallan a continuación:

Compatibilidad:

- La tarjeta DT2805 es totalmente compatible con Computadores Personales IBM PC, IBM PC/XT, IBM PC/AT y compatibles.

Conversor A/D:

- Se tienen 8 canales de entrada analógica en el modo diferencial, esto quiere decir que no hay una tierra común. A diferencia de otras tarjetas similares, ésta no permite en ningún caso, utilizar las entradas analógicas en el modo de 16 canales de entrada con tierra común.
- La conversión tiene una resolución de 12 bits.
- Se pueden seleccionar los rangos de voltaje de entrada, mediante el cambio físico de la configuración

de puentes en la tarjeta. Además se pueden seleccionar desde programa, las ganancias que se quiera dar a las entradas. Ambas selecciones son dependientes como lo indica la Tabla II [4].

GANANCIA	RANGO DE ENTRADA	MAXIMO VOLTAJE *
1	0 a + 10 V	+ 9,9976 V
10	0 a + 1 V	+ 0,99976 V
100	0 a +100 mV	+ 99,976 mV
500	0 a + 20 mV	+ 19,995 mV
1	± 10 V	+ 9,9951 V
10	± 1 V	+ 0,99951 V
100	± 100 mV	+ 99,9951 mV
500	± 20 mV	+ 19,990 mV

Tabla II.- Selección de ganancia y rangos de voltaje para canales analógicos de entrada.

* Mínimo voltaje requerido para producir una salida en el conversor A/D con todos los bits en 1 lógico. Aumento del voltaje de entrada más allá de este valor, no producirá cambio alguno en la salida del conversor.

Conversor D/A:

- Se tienen 2 canales de salida analógica.
- La conversión tiene una resolución de 12 bits.
- Se pueden seleccionar los rangos de voltaje de salida, mediante el cambio físico de la configuración de puentes en la tarjeta. La selección del rango es independiente para cada canal. Los rangos posibles son los siguientes: [4]

 RANGO DE LA SALIDA

0	a +	5 V
0	a +	10 V
	±	2,5V
	±	5 V
	±	10 V

Tabla III.- Selección de rango de voltaje para canales analógicos de salida.

- Con el encendido inicial del computador, o con una instrucción de RESET en el programa, las salidas analógicas toman el valor correspondiente a fondo de escala negativo (minus full scale), respectivo para cada canal. Por ejemplo, si el canal DAC 0 trabaja en el rango 0 a 10 V, y el canal DAC 1 en el rango ± 10 V, luego del encendido o después de un RESET tendrán respectivamente en sus salidas 0 V y -10 V.
- Después de que un dato ha sido escrito en un canal analógico de salida, éste permanece constante hasta que se escriba otro.

NOTA: Calibración de los conversores A/D y D/A en la referencia [4]

Puertos digitales de entrada y salida:

- La DT2805 tiene 2 puertos digitales de 8 bits cada uno, o sea en total 16 líneas digitales de entrada.
- Cada puerto, puede utilizarse separadamente para escribir o leer, datos digitales.
- Los niveles lógicos son compatibles con tecnología TTL. Las entradas representan una carga LSTTL, y las salidas pueden manejar 30 cargas LSTTL. [4]

1.4.2 Interconexiones

La comunicación entre el transmisor y el computador y, entre el computador y el actuador, requiere las siguientes conexiones:

- a) Dos entradas analógicas en el rango 0 a 10 V para lecturas de temperatura de dos transmisores (principal y auxiliar).
- b) Dos salidas analógicas en el rango 0 a 10 V, que sirven de señales de control para el actuador. Una de calentamiento y otra de enfriamiento.
- c) Una salida digital para medición en osciloscopio, del tiempo de muestreo durante la ejecución del control. (Utilizada en el periodo de desarrollo del equipo).
- d) Cuatro entradas digitales para detección de falla en equipos externos al computador. Dos se utilizan para verificar el funcionamiento del transmisor y del actuador respectivamente, y dos se dejan libres para equipos que se añadan en el futuro.

Algunos de los requerimientos anteriores, son seleccionados mediante el cambio físico de puentes (jumpers) existentes en la tarjeta. La Tabla IV muestra la configuración adoptada:

FUNCION	PUENTES (JUMPERS)	
	• INSTALAR	• REMOVER
.....
Rango entradas analógicas ± 10 V	• • • W4	• • • W5
Rango salida analógica DAC 0 ± 10 V	• • W9, W11	• • W10, W12
Rango salida analógica DAC 1 ± 10 V	• • W13, W15	• • W14, W16

Tabla IV.- Selección de jumpers en DT2805 para configuración necesaria.

* Para obtener el rango efectivo de 0 a +10 V, (descartando el rango de 0 a -10 V), se hace una corrección en el programa. Sin embargo, desde el punto de vista de los convertidores A/D y D/A, el rango total de voltaje es 20 V.

Todas las conexiones se las realiza a través del panel de terminales DT707. Este panel es un accesorio que permite al usuario hacer todas las conexiones a la tarjeta DT2805, por medio de terminales de tornillo.

Al utilizar entradas analógicas diferenciales, un camino debe existir entre el *RETORNO* de cada canal (*CHX RET*) y el *Analog Ground*. Esto se lo hace mediante una resistencia de 10 kΩ ¼ w. El panel DT707, tiene lugares apropiados para estas resistencias. Además, todas las entradas analógicas no utilizadas, deben ser conectadas a *Analog Ground*. [4]

1.5 Actuador

El actuador o elemento final, es el instrumento que entrega energía a la planta del sistema, con el fin

de aumentar o disminuir la temperatura del líquido, según lo exija el controlador.

1.5.1 Consideraciones previas al diseño

a) Para el calentamiento, el actuador debe entregar energía calorífica mediante resistencias eléctricas. Se trata de tres resistencias sumergibles de 1500 w cada una, muy comunes en calentadores de agua domésticos. Entre las dos posibles conexiones de las resistencias (TRIANGULO o ESTRELLA), se escoge la conexión ESTRELLA, por la ventaja que implica tener acceso al neutro.

b) En cuanto a la forma de regular, la entrega de energía eléctrica a las resistencias, se tienen dos alternativas: control por ángulo de fase y control por ciclo integral. De acuerdo con la teoría de la Electrónica de Potencia, el control por ciclo integral de la energía eléctrica, es particularmente ventajoso en el caso de cargas predominantemente resistivas (sin componente reactiva considerable), frente al control por ángulo de fase, pues para este último se crea un factor de potencia reactivo desde el punto de vista de la red. Razón por la cual se selecciona el control por ciclo integral.

c) Para regular el enfriamiento en cambio, se cuenta con una electroválvula que controla el paso de refrigerante (agua), a través de un intercambiador de calor. Puesto que los dos estados posibles de la válvula son encendida o apagada (abierta o cerrada), el tipo de control durante el enfriamiento es del tipo ON-OFF.

d) Las señales que ingresan al actuador, provenientes del controlador, están en los rangos de voltaje y corriente normalizados, esto es : 0 a 10 V y 4 a 20 mA. El operador puede seleccionar mediante un conmutador, si las señales son en voltaje o en corriente. Una

vez seleccionado ésto, el actuador recibe dos señales de control separadas, una para calentamiento y otra para enfriamiento. El circuito de entrada del actuador asume, que para la orden de calentar, el controlador envía una señal mayor a 0 V (4 mA) por el canal de calentar e, igual a 0 V (4 mA) por el canal de enfriar. Si la orden del controlador es de enfriar, en forma inversa. Por consideraciones prácticas, se crea en software una pequeña histéresis del orden de las centésimas de voltio.

e) Los circuitos electrónicos utilizan fuentes de polarización de ± 12 V y de + 5 V. Se incluyen en este bloque las fuentes necesarias, que además sirven para la polarización de los circuitos del transmisor.

f) Para la recirculación del agua a través del intercambiador de calor, se utiliza una bomba de 131 w. El interruptor de encendido de la bomba, se encuentra en esta unidad.

1.5.2 Modulador por ancho de pulso

El modulador por ancho de pulso, produce los pulsos que comandan las compuertas de los triacs, que a su vez, regulan el voltaje y la corriente eficaz, sobre las resistencias de calentamiento, en la forma de ciclo integral. Para este control se requiere que, manteniendo el período constante, varíe el ancho del pulso en forma proporcional al voltaje de entrada.

La tecnología digital presenta ciertas ventajas frente a la analógica, por lo que, se decide realizarlo en forma digital, utilizando el microcontrolador INTEL 8751H, (Circuito Integrado U1 en la FIGURA 1.9). Las características del 8751H se las encuentra en la referencia [5].

La señal que recibe el actuador es de tipo analógica, por lo que se debe hacer una conversión analógica digital A/D, y se escoge para esto el circuito integrado ADC0804 designado por U3 en la FIGURA 1.9.

El desarrollo del programa almacenado en la memoria del 8751H, se llevó a cabo con la ayuda del UDL (Universal Development Laboratory) y del simulador AVSIM51. El UDL cumple las funciones de emulador (mediante memoria RAM) de memoria ROM y también, de analizador lógico. Para el manejo del UDL se requiere una circuitería adicional, la cual en funcionamiento normal queda deshabilitada. En otras palabras, durante el desarrollo se hace trabajar al microcontrolador, con memoria externa y en funcionamiento normal, con su memoria interna.

A. Configuración del Hardware

Durante la fase de desarrollo, el UDL emula mediante RAM, a una ROM 2K x 8, idéntica a la 2716. El circuito de la FIGURA 1.9 muestra las conexiones entre el microcontrolador y esta memoria (U6). En el circuito construido, en lugar del elemento U6, aparece un sócalo de 24 pines vacío, en donde se inserta el conector del cable del UDL. Otro elemento auxiliar es el integrado 74LS373 (U2), que es un retenedor (Latch) de 8 bits, que permite mantener direccionada la memoria externa, cuando el microcontrolador recibe los datos del conversor A/D a través del puerto P0.

Por último, el UDL requiere poder comandar la señal de reset del microcontrolador, para lo cual se añade, la compuerta inversora SN7414 (U4B).

La utilización del UDL, implica una gran ventaja para el desarrollo y depuración del programa, gracias a sus funciones de emulador de ROM y de analizador lógico. Todas estas funciones se realizan a través del monitor y

teclado de un computador.

La selección del funcionamiento con memoria externa (UDL) o memoria interna, se hace mediante los jumpers J1 y J2. Los contactos están dibujados en la posición para memoria interna, es decir el circuito auxiliar para el UDL está deshabilitado.

La configuración del hardware, mostrada en la FIGURA 1.9, es la siguiente:

- PUERTO P0: 1) Bus de direcciones (byte menos significativo) para memoria externa.
 2) Bus de datos para el conversor A/D y la memoria externa en el proceso de desarrollo con el UDL.
- PUERTO P1: P1.0...P1.2.- señales de encendido de los elementos de potencia (triacs) para calentamiento (3 fases), esto es el comando de los interruptores SW CAL1 a SW CAL3.
 P1.3...P1.4.- señales de encendido de elemento enfriador (electroválvula), SW ENF1. SW ENF2 queda de reserva.
 P1.5.- indicación de calentamiento.
 P1.6.- indicación de enfriamiento.
 P1.7.- señal de habilitación del conversor A/D (C/S).

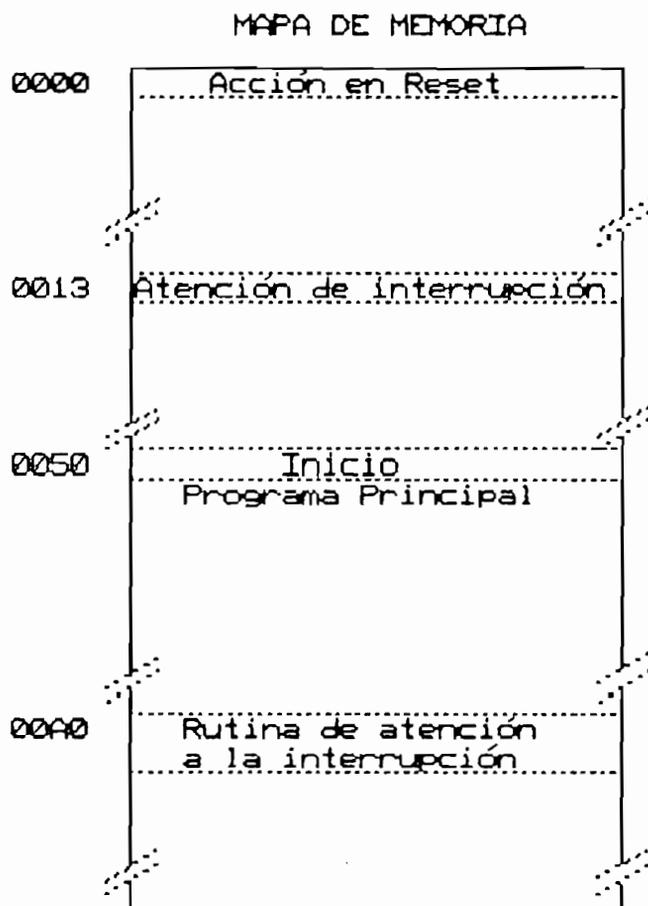
Para el encendido de los LEDs indicadores se utiliza el nivel lógico 0_L , mientras que para los elementos actuadores el nivel lógico 1_L . Los valores que toma P1, durante la ejecución son:

VALOR HEX	VALOR BINARIO								FUNCION
	P1.7	P1.6	P1.5	P1.4	P1.3	P1.2	P1.1	P1.0	
60H	0	1	1	0	0	0	0	0	Al encendido (reset)
C7H	1	1	0	0	0	1	1	1	Calentamiento, ciclos de red activos
COH	1	1	0	0	0	0	0	0	Calentamiento, ciclos de red inactivos
B8H	1	0	1	1	1	0	0	0	Enfriamiento

PUERTO P2: P2.0...P2.3.- Bus de direcciones. Completa los 11 bits necesarios para direccionar y seleccionar la memoria externa 2716 (2K x 8).
P2.4...P2.7.- no se utilizan.

PUERTO P3: P3.0...P3.1 .- no se utilizan.
P3.2.- INTO, entrada de interrupción externa, proveniente del conversor A/D.
P3.3.- no se utiliza. Se conecta a Vcc.
P3.4.- entrada T0. 0_L le indica al micro tomar acción de calentamiento. 1_L le indica, tomar acción de enfriamiento.
P3.5.- entrada T1. Para el contador de cruces por cero de la red.
P3.6.- WR, señal de WRITE.
P3.7.- RD, señal de READ.

B. Mapa de memoria



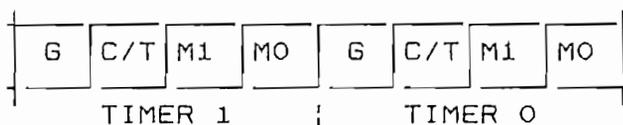
C. Registros especiales

IE: Registro de habilitación de interrupciones



Habilitar	INT1	1	X	X	X	X	1	X	X
Deshabilitar	INT1	1	X	X	X	X	0	X	X

TMOD: Registro de modo del TIMER



Habilitar como CONTADOR de 16 bits al TIMER 1 #50H	0	1	0	1	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---

TCON: Registro de control del TIMER

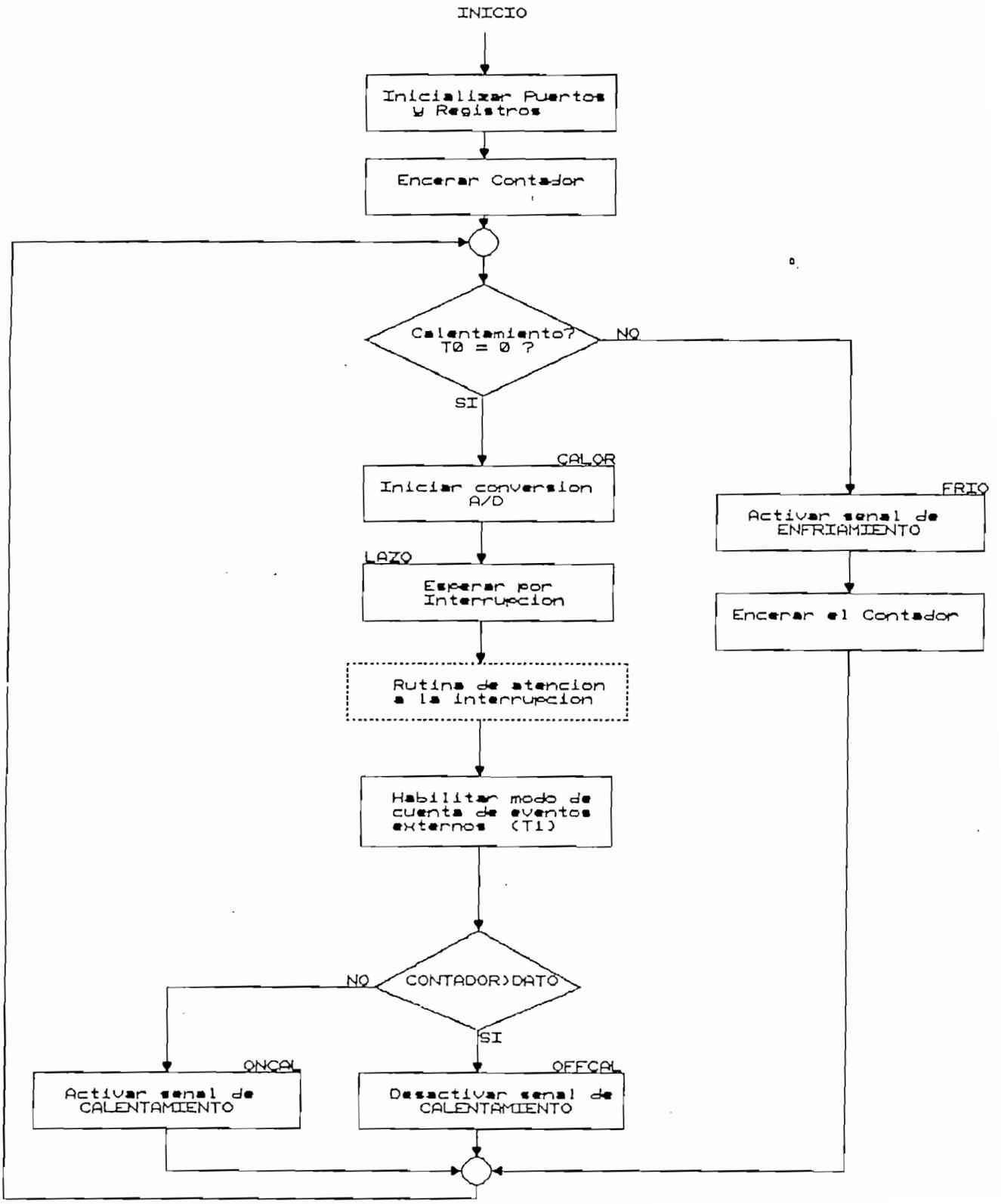


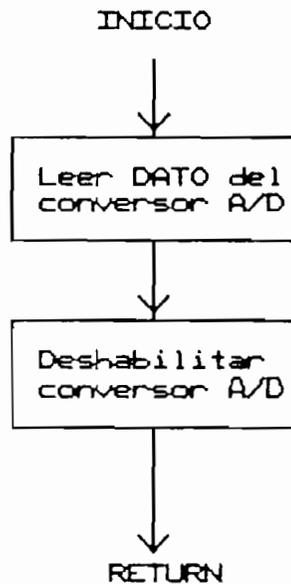
Desactivar contador T1 #1H	0	0	0	0	0	0	0	1
Activar contador T1 #41H	0	1	0	0	0	0	0	1

D. Algoritmos

A continuación se presenta en forma de diagramas de flujo una síntesis de los algoritmos utilizados en el programa desarrollado para el módulo de control. No se incluyen los listados de los programas, los cuales se hallan en el ANEXO B.

PROGRAMA PRINCIPAL





RUTINA DE ATENCION A LA INTERRUPCION

1.5.3 Conversor A/D

El circuito de actuación, admite dos formas de entrada analógica: en voltaje (0 a 10 V) o en corriente (4 a 20 mA). Para la entrada en voltaje, se acondiciona el rango, al permisible por el conversor ADC0804 (U3 en la FIGURA 1.9), el cual es: 0 - 5 V. Esto se consigue, mediante una amplificación de ganancia +0,5, con los amplificadores operacionales A07B y A07D.

Para la entrada en corriente, se hace lo propio, convirtiendo primeramente la corriente a voltaje, por medio de la resistencia R_{10} de 250 Ω . El rango de voltaje, en esta resistencia, y por tanto, a la salida del seguidor de tensión formado por A07A, es de 1 a 5 V.

Mediante el selector SW3 (selector V/I), el operador escoje la forma de entrada. Si la selección es en voltaje, el triple multiplexer 2 a 1 (U9), selecciona el

camino "x", con lo cual se tiene en el conversor U3 lo siguiente:

- entrada VI+ : Vcal (0 - 5 V)
- entrada VI- : 0 V
- entrada Vref/2 : no conectado

teniendo como resultado una conversión en todo el rango con las equivalencias de:

- 0 V equivale a #0H
- 5 V equivale a #FFH

Si la selección del operador es en corriente, entonces el camino seleccionado por el MUX (U9) es el "y", con lo cual se tiene:

- entrada VI+ : Vcal (1 - 5 V)
- entrada VI- : 1 V
- entrada Vref/2 : 2 V

Se llega a estos valores del siguiente análisis:

- Se quiere la correspondencia:
- 1 V equivale a #0H
 - 5 V equivale a #FFH

El conversor ADC0804 permite seleccionar el rango de entrada gracias a su entrada diferencial, para lo cual VI- se pone en el valor del voltaje mínimo de ese rango, esto es 1 V.

Por otro lado, se fuerza a que el recorrido sea de 4 V (5 V - 1 V), utilizando la entrada Vref/2, en la que se pone el voltaje correspondiente a la mitad del recorrido total, es decir $4V / 2 = 2 V$.

El resultado en cualquiera de las dos posibilidades, (voltaje o corriente), es el mismo:

0 V equivale a 4 mA equivale a #0H
 10 V equivale a 20 mA equivale a #FFH

Las características del ADC0804 se encuentran en la referencia [6].

1.5.4 Comparador

Su función es la de indicarle al microcontrolador, mediante una señal digital, si la orden del controlador es calentar o enfriar. Como se vio en el apartado anterior, si la indicación es "calentar", el microcontrolador produce en las salidas SW CAL1 a SW CAL3 pulsos de ancho proporcional a la magnitud de las entradas V_{cal} o I_{cal} ; si en cambio, la orden es "enfriar", el microcontrolador produce en las salidas SW ENF1 y SW ENF2, un 1_L permanente (control ON-OFF para el enfriamiento), sin importar las magnitudes de V_{enf} o de I_{enf} .

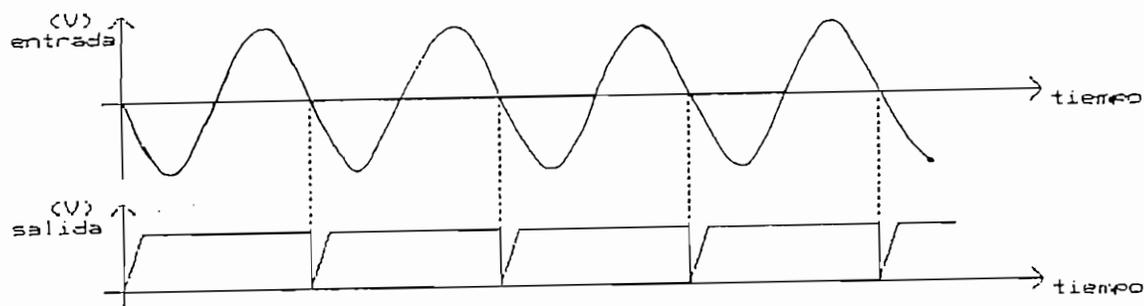
La posición del selector V/I, determina las señales que entran al comparador, por medio del multiplexer triple 2 a 1 U10. Si la selección es "voltaje", se toma el camino "x" y al comparador entran V_{cal} y V_{enf} . Si la selección es corriente, el camino es el "y", y se comparan las señales (ya convertidas a voltaje) de I_{cal} e I_{enf} .

El circuito comparador, está constituido por el *LM311N Voltage Comparator (A08)*. El arreglo de resistencias formado por R_{24} , R_{25} , R_{27} , R_{28} sirve para dar una histéresis del orden de 50 mV al comparador.

La salida del comparador es reducida a nivel TTL, mediante el zener D6 y las compuertas inversoras U4C y U4F.

1.5.5 Detector de cruce por cero

El detector de cruce por cero tiene como entrada y salida las siguientes formas de onda:



Esto se logra con el circuito formado por el operacional A05A y C_{11} , Q , R_{20} y R_{21} . La muestra de voltaje de red, proviene del transformador TR3 de relación de transformación 120/6 Vrms, y un divisor de tensión (R_{10} y R_{11}). El nivel TTL de la forma de onda de salida se la consigue en base al desplazamiento de 5,1 V de la referencia, producido por el zener D5; y las compuertas inversoras U4E y U4D.

1.5.6 Circuito de fuerza

En el circuito de fuerza pueden identificarse tres secciones independientes: el correspondiente al calentamiento (FIGURA 1.10); el circuito de verificación visual del funcionamiento de cada fase, durante el control por Ciclo Integral (FIGURA 1.11); y el circuito de encendido de la electroválvula para el enfriamiento (FIGURA 1.12).

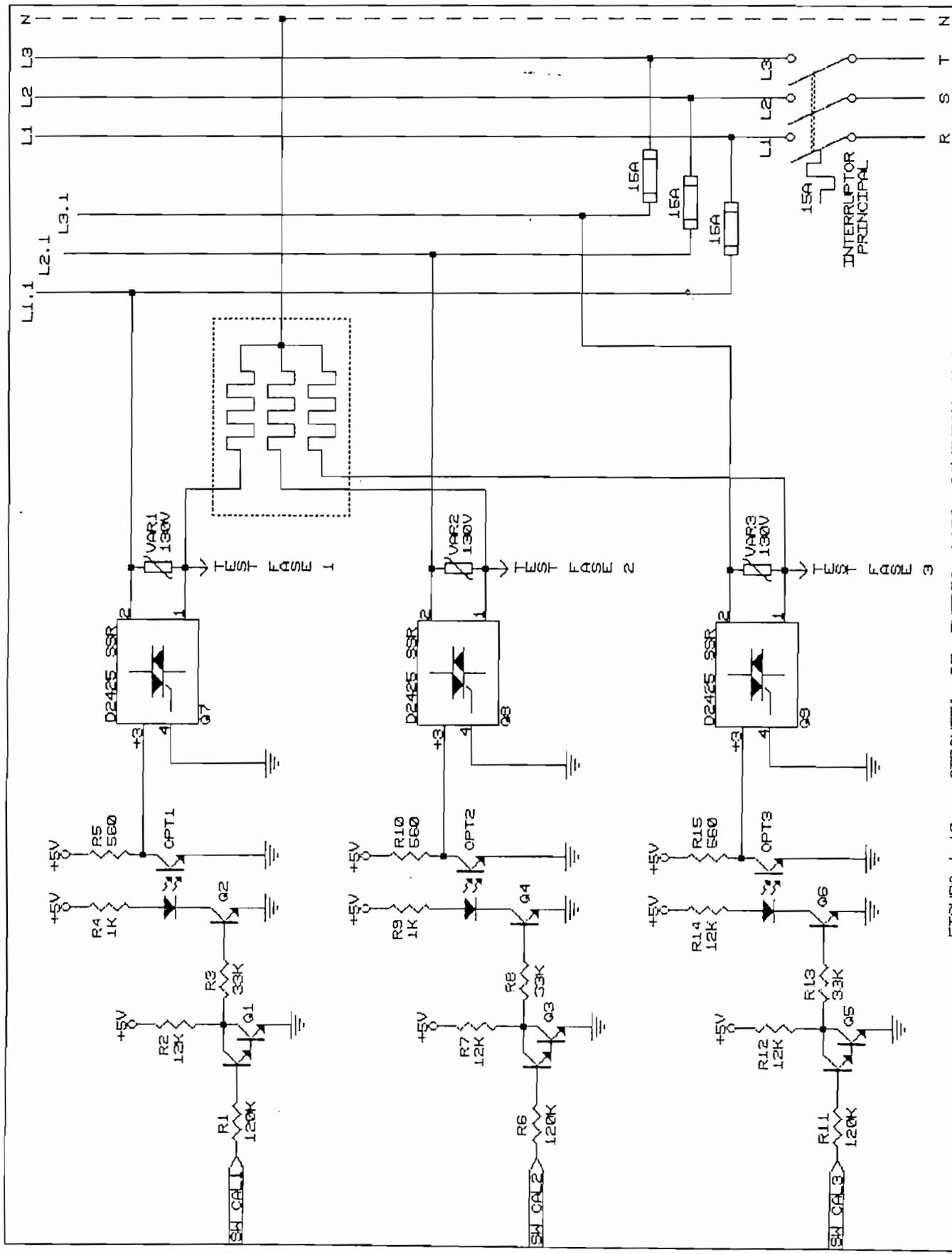


FIGURA 1.10 CIRCUITO DE FUERZA BOBO COLENTOMENTA

El circuito de fuerza para el calentamiento, trabaja con alimentación trifásica (3 x 120 V) más línea de neutro. Un interruptor de 3 vías del tipo disyuntor térmico (Breaker), permite la energización de las líneas L1, L2 y L3. Los relés de estado sólido (D2425 SSR), cuyo funcionamiento es en base a triac, regulan la corriente en las resistencias de calentamiento, conectadas en estrella. La FIGURA 1.10 muestra finalmente, el circuito de amplificación e interfaz óptico del pulso para la compuerta del triac, en cada fase. El relé de estado sólido está protegido por un fusible de 15 A, y un varistor contra sobre voltajes de 130 V.

Para tener una información visual del comportamiento de los relés de estado sólido, mientras ejecutan el control por Ciclo Integral, se utiliza el circuito de la FIGURA 1.11. Las indicaciones para la fase 1 (línea L1) son las siguientes, (el sistema se repite para las tres fases):

- LED D1 (verde).- Colocado en el panel frontal del equipo (designado por L1). Si está encendido indica que, habiéndose puesto el INTERRUPTOR PRINCIPAL de la FIGURA 1.10 en ON, la línea L1 ha sido energizada.

- LED D6 (rojo) y LED D3 (amarillo).- Visibles al quitar la tapa del equipo ACTUADOR, (designados por f1). El LED amarillo encendido indica que, estando energizada la línea L1.1, el relé respectivo, está abierto. El LED rojo encendido indica que el relé está cerrado.

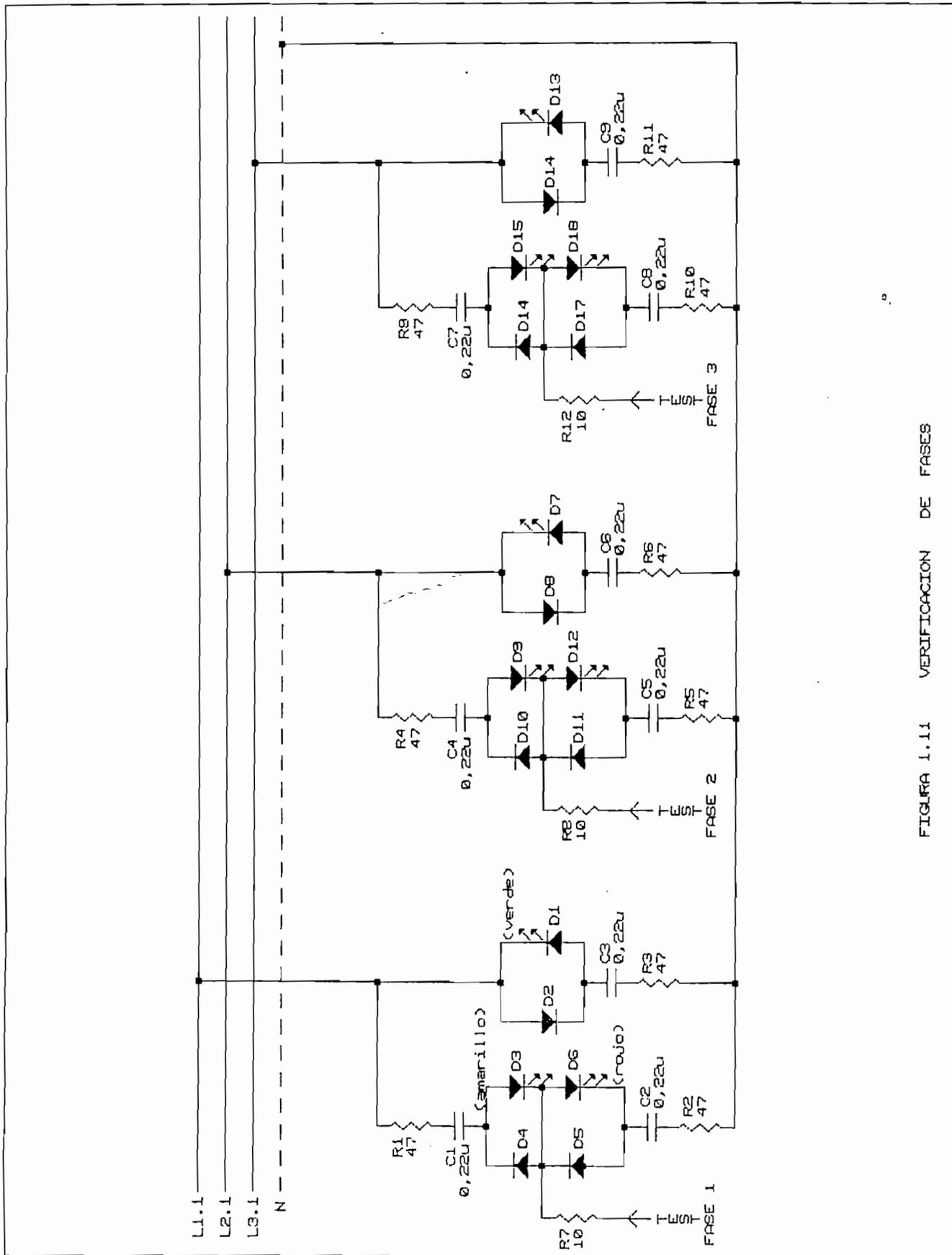


FIGURA 1.11 VERIFICACION DE FASES

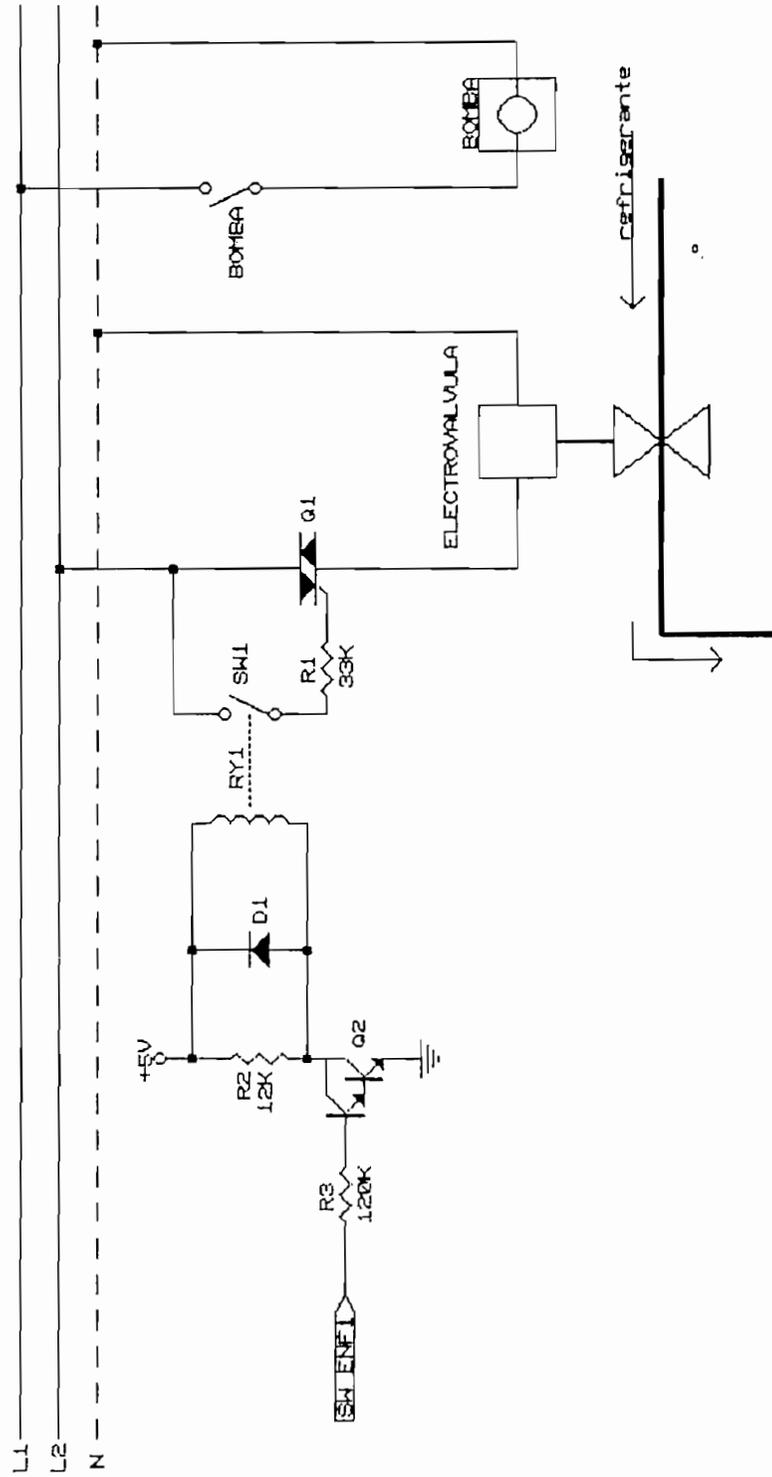


FIGURA 1.12 ENCENDIDO DE ELECTROVALVULA

El circuito de encendido de la electroválvula para el sistema de enfriamiento, mostrado en la FIGURA 1.12, está constituido por un amplificador del pulso proveniente del microcontrolador (SW ENF1), mediante el transistor Q2, que permite encender un relé electromagnético miniatura, de bobina para corriente continua de 5 V. El contacto normalmente abierto del mismo se utiliza para producir el disparo del triac Q1, y por tanto el encendido de la electroválvula.

Como se ve en el mismo circuito, el accionamiento de la bomba de recirculación del líquido es manual, mediante el interruptor BOMBA, existente en el panel frontal del ACTUADOR.

1.5.7 Fuentes de polarización

El circuito de la FIGURA 1.13 es el correspondiente a las fuentes reguladas de tensión continua, necesarias para la polarización de todos los circuitos involucrados en el sistema, (actuador y transmisores).

Están presentes una fuente de ± 12 V y una fuente de + 5 V. Para la fuente de ± 12 V, se utilizan los reguladores de voltaje integrados NTE1914 (para la positiva) y NTE1951 (para la negativa), ambos para una corriente máxima de 1,5 A. El regulador de voltaje utilizado en la fuente de + 5 V es el SG309K, para una corriente máxima de 1,5 A. Ambas fuentes se encuentran protegidas con fusibles de 1,5, en los secundarios de los transformadores.

El encendido de la fuente de ± 12 V, es directo con el encendido del INTERRUPTOR PRINCIPAL. En cambio, la fuente de + 5 V, depende del accionamiento adicional por parte del operador del pulsante LISTO, presente en el panel frontal del ACTUADOR. Dicho pulsante activa el relé RY1, el cual se enclaba por el contacto RY1a. El

contacto RY1b, enciende la fuente de + 5 V. La pulsación además enciende el relé RY2, cuyos contactos más los restantes de RY1, cumplen funciones que no tienen que ver con este apartado, por lo tanto su detalle se encuentra en los apartados que los involucra.

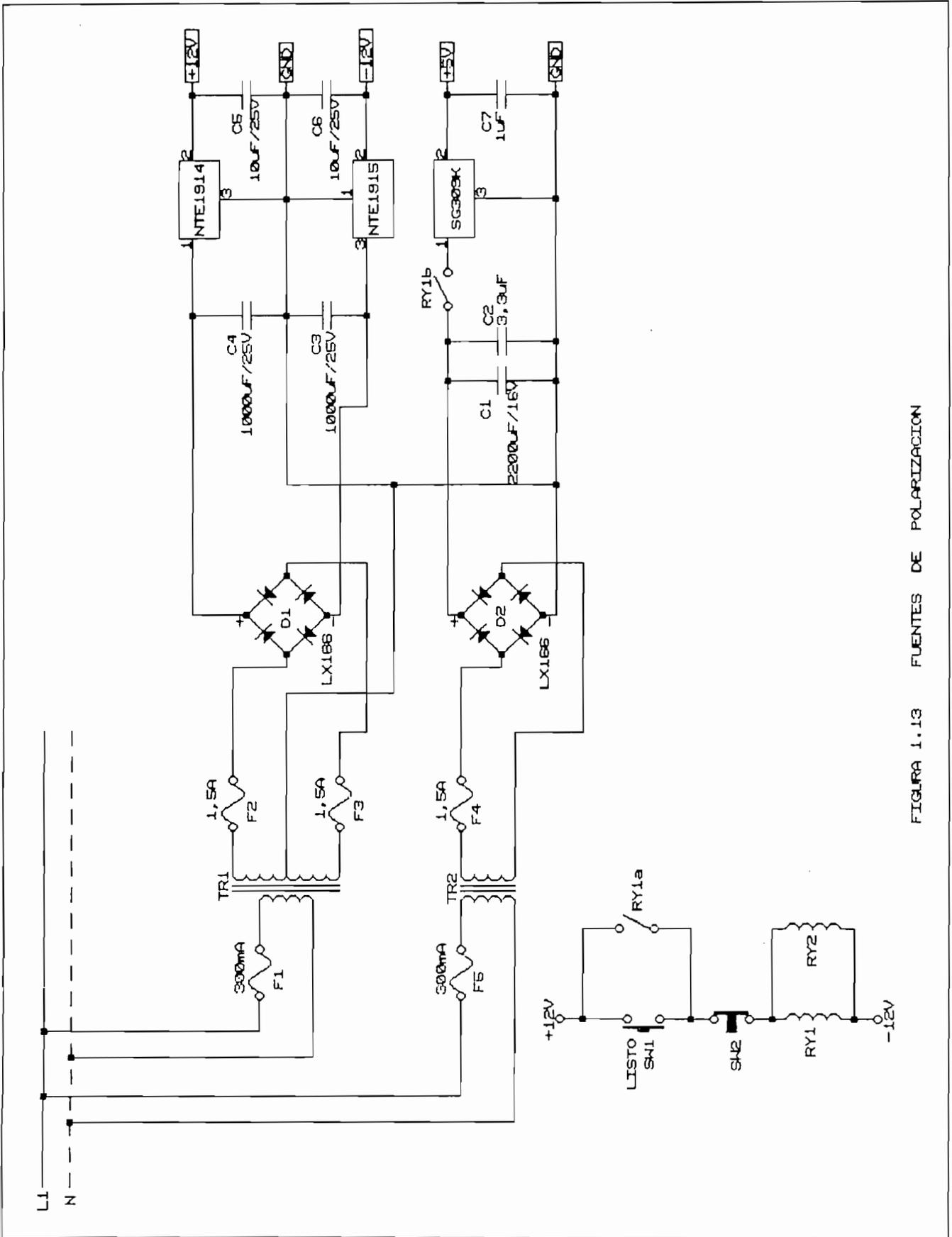


FIGURA 1.13 FUENTES DE POLARIZACION

CAPITULO II
DISEÑO DEL PROGRAMA
DE COMPUTACION

CAPITULO II

DISEÑO DEL PROGRAMA DE COMPUTACION

2.1 Requerimientos del programa

El programa de computación tiene por objeto proporcionar un sistema programable de control, concebido como un instrumento de apoyo (tanto de laboratorio como industrial) en procesos de tratamiento térmico definido en márgenes amplios de temperatura y tiempo. Mediante su utilización, un operador sin mayor experiencia informática previa puede establecer fácilmente, a través de un teclado, la secuencia térmica deseada, la cual será ejecutada por el controlador, mediante acciones de control P/PID en cada uno de los tramos.

Los tramos pueden ser de tres tipos:

- a) Subidas lineales de la temperatura hacia una cota cualquiera, en un intervalo de tiempo programable, mediante la instrucción *Alcanzar* (A).
- b) Estabilizaciones de la temperatura durante un tiempo prefijado, por medio de la instrucción *Estabilizar* (E).
- c) Bajadas lineales de la temperatura hacia una cota cualquiera en un intervalo de tiempo programable, mediante la instrucción *Alcanzar* (A).

El programa está enfocado a conseguir las siguientes prestaciones:

- 1) Resolución en la presentación de las temperaturas de 1 °C;

- 2) Presentación continua en pantalla durante la fase de control, del número de tramo actual, tiempo transcurrido y temperatura;
- 3) Control manual de la señal de control, para subir o bajar la temperatura;
- 4) Adquisición y presentación de medidas de temperatura del transmisor principal y de uno auxiliar;
- 5) Generación del gráfico de la temperatura en función del tiempo, una vez concluida la ejecución del último tramo;
- 6) Predefinición de las constantes del controlador a voluntad del operador, antes de iniciar la sesión;
- 7) Predefinición de parámetros auxiliares del sistema, como son: temperatura máxima y mínima, pendientes máximas de subida y bajada, y factor de conversión (voltios a grados centígrados) del transmisor utilizado.

Por la función específica que realiza el programa, se le ha asignado el nombre de "Control Programable de Temperatura", abreviado COPROTEM.

2.2 Herramientas para desarrollo del programa

El desarrollo y la utilización del programa COPROTEM, precisa de un conjunto de elementos y requisitos adicionales, imprescindibles para su correcto funcionamiento.

2.2.1 Entorno físico (Hardware)

COPROTEM ha sido desarrollado en un computador personal totalmente compatible con IBM, el cual alberga en una de sus ranuras de expansión del sistema, a la tarjeta de adquisición de datos DATA TRANSLATION DT2805, cuyas características se detallan en el apartado 1.4.1. El sistema en donde se utilice COPROTEM, no debe tener

menos de 64 kbytes de memoria RAM. La opción de gráficos del programa, demanda para su total aprovechamiento, de una impresora, por ejemplo la EPSON LX-800.

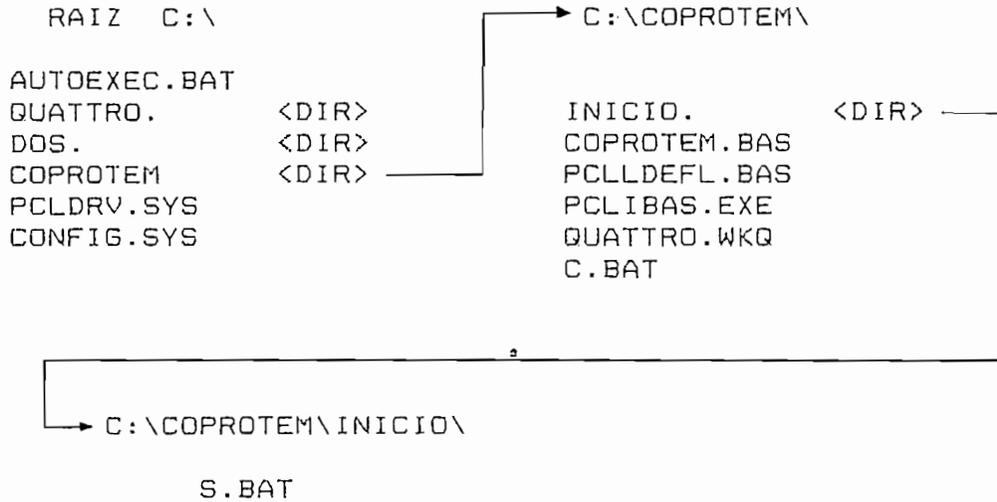
2.2.2 Software

El lenguaje de programación utilizado es el BASIC, y ha sido desarrollado en el GWBASIC.

Para el manejo de la tarjeta DT2805, se dispone del paquete PCLAB. PCLAB es una biblioteca de subrutinas las cuales pueden ser invocadas (en tiempo real) desde varios lenguajes de programación Microsoft permitidos por PC DOS. Las subrutinas PCLAB permiten realizar transferencias analógicas o digitales en ambos sentidos, desde o hacia el computador, y permiten manipular la tarjeta DT2805 con propósitos específicos, como fijar las ganancias de los canales analógicos de entrada, o definir puertos digitales como entradas o salidas. Todo lo referente al PCLAB se encuentra en la referencia [7].

Los gráficos de la respuesta del sistema de control, que proporciona COPROTEM, son ejecutados en QUATRO, el cual debe estar instalado en el computador.

La organización de archivos y directorios es detallada a continuación: (La instalación e inicialización de PCLAB, se encuentra en la referencia [7])



En el archivo AUTOEXEC.BAT debe existir la línea:
 SET BASIC = C:\DOS\GW BASIC.EXE

En el archivo CONFIG.SYS debe existir la línea:
 DEVICE = \PCLDRV.SYS

El archivo C.BAT, tiene el propósito de advertir al usuario el entorno necesario para la utilización de COPROTEM, y lo instruye para ingresar. Además del mensaje el archivo debe tener la línea:

```
Path=C:\coprotem\inicio\
```

cuyo objeto es hacer obligatorio el paso por este archivo antes de ingresar a COPROTEM.

El archivo S.BAT, ejecuta a COPROTEM. En el debe existir la línea:

```
PCLLDR COPROTEM.BAS
```

2.3 Diseño de los módulos del programa

El programa COPROTEM, tiene una organización en módulos cuyo esquema se presenta en la FIGURA 2.1.

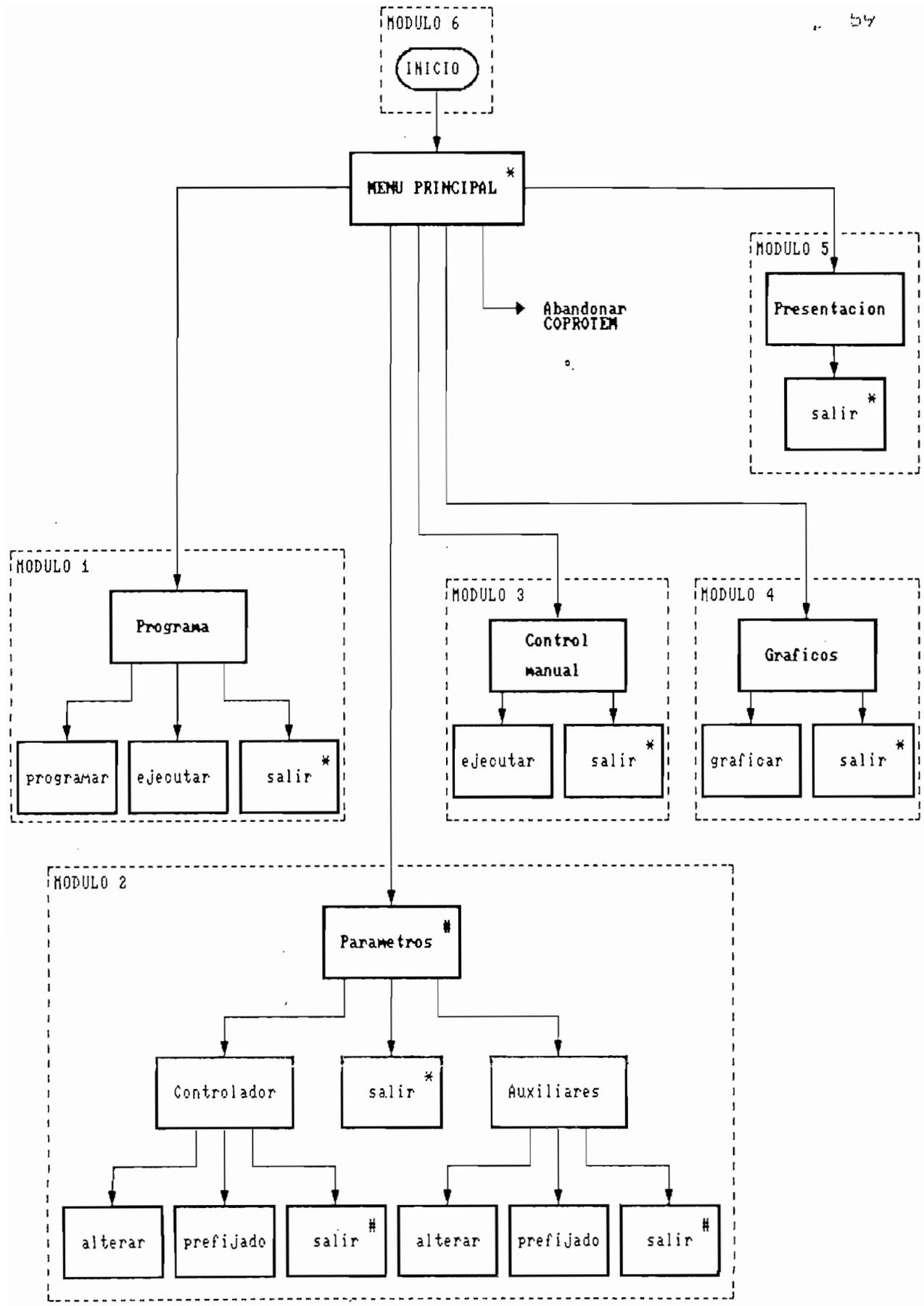


FIGURA 2.1 ORGANIZACION DE COPROTEM

Este organigrama, en forma de árbol, indica que no existe una secuencia obligatoria entre los módulos del programa, es decir que el operador, puede indistintamente seleccionar cualquier módulo, comenzando eso si obligatoriamente, del MENU PRINCIPAL.

2.3.1 MODULO 1: Programa

En este módulo, el operador escribe las instrucciones para una secuencia térmica deseada y lo ejecuta. A la secuencia térmica se la denomina Programa, el cual tiene un límite de ocho tramos. El diagrama de bloques de este módulo se muestra en la FIGURA 2.2.

El módulo se divide en dos secciones: en la primera, el usuario ingresa las instrucciones para la generación de la secuencia térmica deseada, y se la llama "Programar". En la segunda sección, COPROTEM ejecuta la secuencia programada y se la denomina "Ejecutar".

A. Programar (Ingreso de instrucciones)

El diagrama de flujo de la FIGURA 2.3, describe el proceso de Ingreso de instrucciones.

B. Ejecutar (Control P/PID)

Como ya se dijo, hay tres tipos de instrucciones, que derivan en dos tipos de tramos: tramos de estabilización y tramos de subida y bajada lineal. Para los tramos de estabilización, en donde se requiere una regulación precisa, se opta por el control de tres términos (proporcional, integral y derivativo). Por su parte, en los tramos de seguimiento lineal, se escoge un control tipo proporcional, justificable desde el punto de vista práctico.

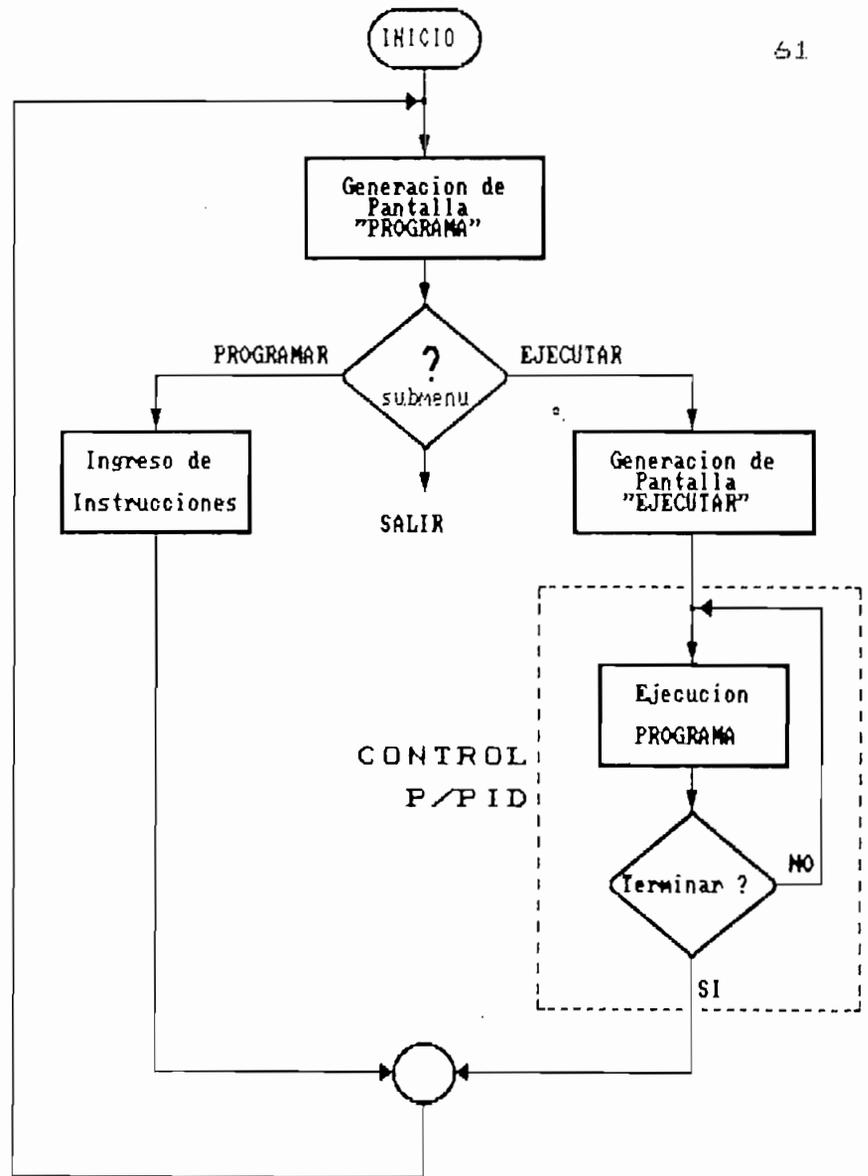


FIGURA 2.2 MODULO 1 : "Programa"

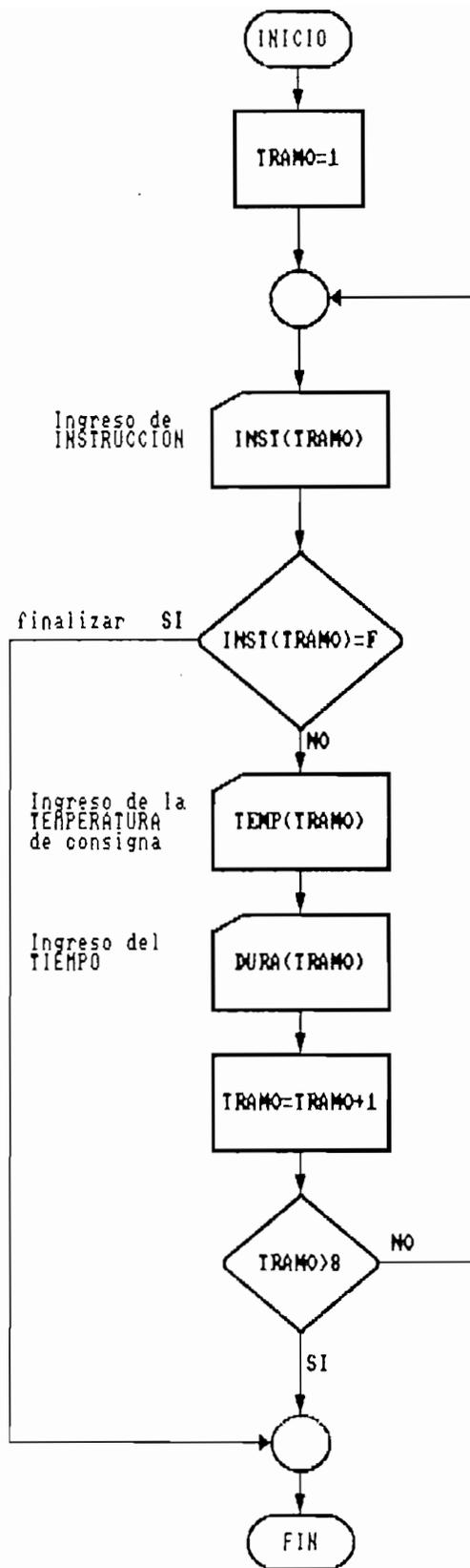


FIGURA 2.3 INGRESO DE INSTRUCCIONES

El algoritmo implementado, tanto para la acción P como para la PID, es del tipo incremental, esto significa que la señal de actuación se obtendrá de la forma siguiente:

$$\text{SALIDA } (n) = \text{SALIDA } (n-1) + \Delta\text{SALIDA}$$

en donde

- para control P : $\Delta\text{SALIDA} = \Delta P$
- para control PID : $\Delta\text{SALIDA} = \Delta\text{PID}$

siendo n = número de iteración y quedando por determinarse ΔP y ΔPID .

Partiendo de la ecuación de la ley de control lineal para PID:

$$G_c(s) = K_c \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot s} + T_d \cdot s \right) \quad \text{Ec. [2.1]}$$

donde K_c es la ganancia y T_i y T_d son las constantes de tiempo de la acción I y la acción D respectivamente, los cuales son los parámetros ajustables del controlador.

La ecuación [2.1], que está en la forma más general, puede convertirse en el dominio discreto escribiéndola primero en el dominio del tiempo.

$$u(t) = K_c \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{d}{dt} e(t) \right] \quad \text{Ec. [2.2]}$$

donde

$$e(t) = r(t) - c(t)$$

es la señal de error (entrada del controlador), $r(t)$ es la entrada de referencia (punto de ajuste), $c(t)$ es el valor de la variable controlada y $u(t)$ es la variable manipulada (salida del controlador). En términos de los datos de muestreo para un intervalo t , éstas son:

$$\begin{aligned} e(k) &= e(k\Delta t) \\ u(k) &= u(k\Delta t) \\ r(k) &= r(k\Delta t) \\ c(k) &= c(k\Delta t) \end{aligned}$$

donde k es un entero. La ecuación [2.2] en el dominio discreto es:

$$\begin{aligned} u(k) = K_c \left\{ e(k) + \frac{1}{T_i} \left\{ \frac{1}{2} [e(0) + e(1)] + \dots + \left[\frac{1}{2} e(k-1) + e(k) \right] \right\} + \right. \\ \left. + T_d \frac{e(k) - e(k-1)}{t} \right\} \end{aligned} \quad \text{Ec. [2.3]}$$

donde la integración en el tiempo para la acción I se reemplazó por una suma trapezoidal y la diferenciación ideal en el tiempo para la acción D por una forma de diferencia de dos puntos.

El algoritmo incremental o "algoritmo velocidad" tiene la diferencia

$$\Delta u(k) = u(k) - u(k-1) \quad \text{Ec. [2.4]}$$

como la salida del controlador en lugar de $u(k)$.

La ecuación [2.3] en el algoritmo velocidad se convierte en:

$$\Delta u(k) = K_c \left\{ \left[e(k) - e(k-1) \right] + \frac{1}{T_i} \frac{e(k) + e(k-1)}{2} \Delta t + \right. \\ \left. + T_d \frac{e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)}{t} \right\} \quad \text{Ec. [2.5]}$$

la cual presentándola de otra forma:

$$u(k) = K_c \left[1 + \frac{\Delta t}{2T_i} + \frac{T_d}{\Delta t} \right] e(k) - K_c \left[1 - \frac{\Delta t}{2T_i} + \frac{2T_d}{\Delta t} \right] e(k-1) + \\ + K_c \left[\frac{T_d}{\Delta t} \right] e(k-2) \quad \text{Ec. [2.6]}$$

Donde Δt es el intervalo de muestreo considerado. Si se definen A, B y C como constantes dependientes de K_c , T_i y T_d de la siguiente manera:

$$A = K_c \left[1 + \frac{\Delta t}{2T_i} + \frac{T_d}{\Delta t} \right] \quad \text{Ec. [2.7]}$$

$$B = K_c \left[1 - \frac{\Delta t}{2T_i} + \frac{2T_d}{\Delta t} \right] \quad \text{Ec. [2.8]}$$

$$C = K_c \left[\frac{T_d}{\Delta t} \right] \quad \text{Ec. [2.9]}$$

La ecuación [2.6] queda:

$$u(k) = A e(k) - B e(k-1) + C e(k-2) \quad \text{Ec. [2.10]}$$

donde

$$\Delta u = \text{PID}$$

es decir que

$$\Delta \text{PID}(n) = A e(n) - B e(n-1) + C e(n-2) \quad \text{Ec.}[2.11]$$

Por otra parte, la ley de control lineal para P

$$G_c(s) = K_c \quad \text{Ec.}[2.12]$$

se convierte en

$$u(t) = K_c e(t)$$

que en versión muestreada, y en el algoritmo velocidad se convierte en

$$\Delta u(k) = K_c [e(k) - e(k-1)] \quad \text{Ec.}[2.13]$$

en donde

$$\Delta u = \Delta p$$

Por lo tanto

$$P(n) = K_c [e(n) - e(n-1)] \quad \text{Ec.}[2.14]$$

El algoritmo descrito, se implementa en el computador para realizar el control digital directo (CDD). Los diagramas de flujo de las FIGURAS 2.4, 2.5 y 2.6, esquematizan dicha implementación.

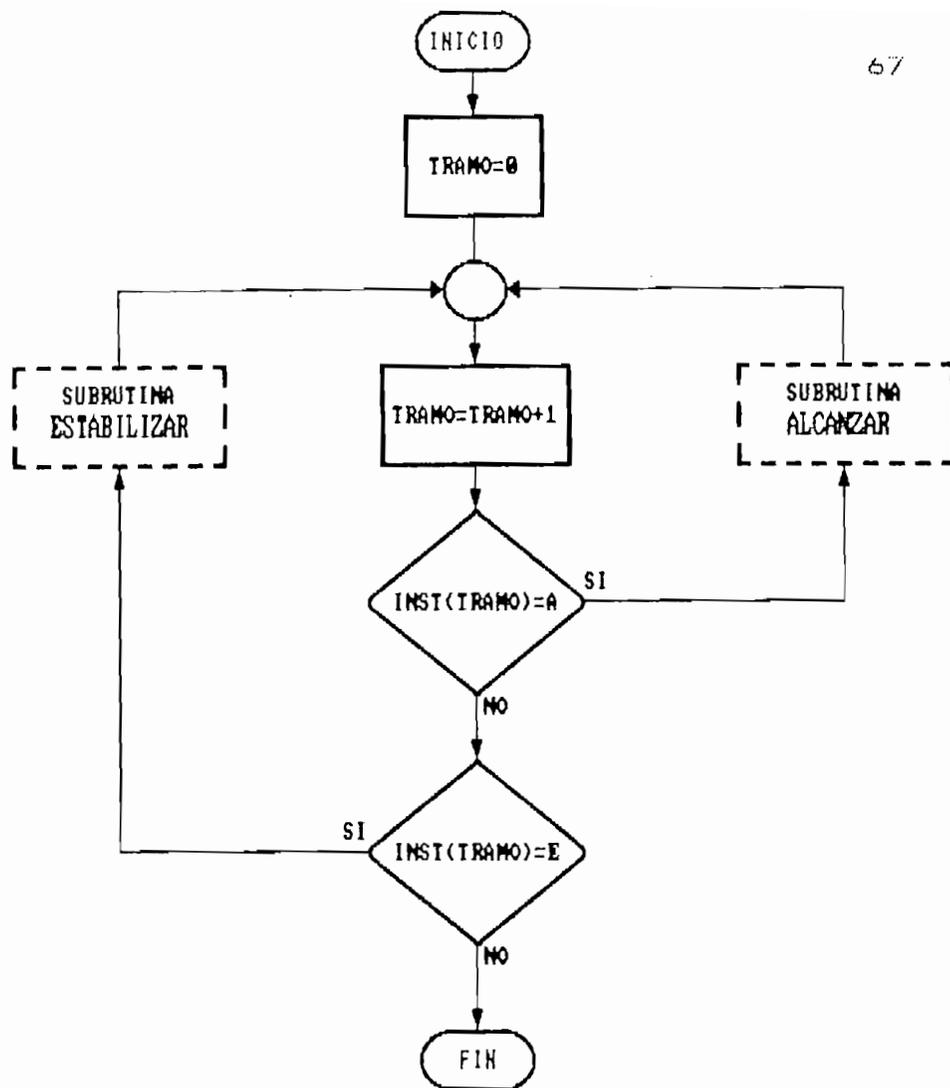


FIGURA 2.4 CONTROL DIGITAL DIRECTO (Bloque principal)

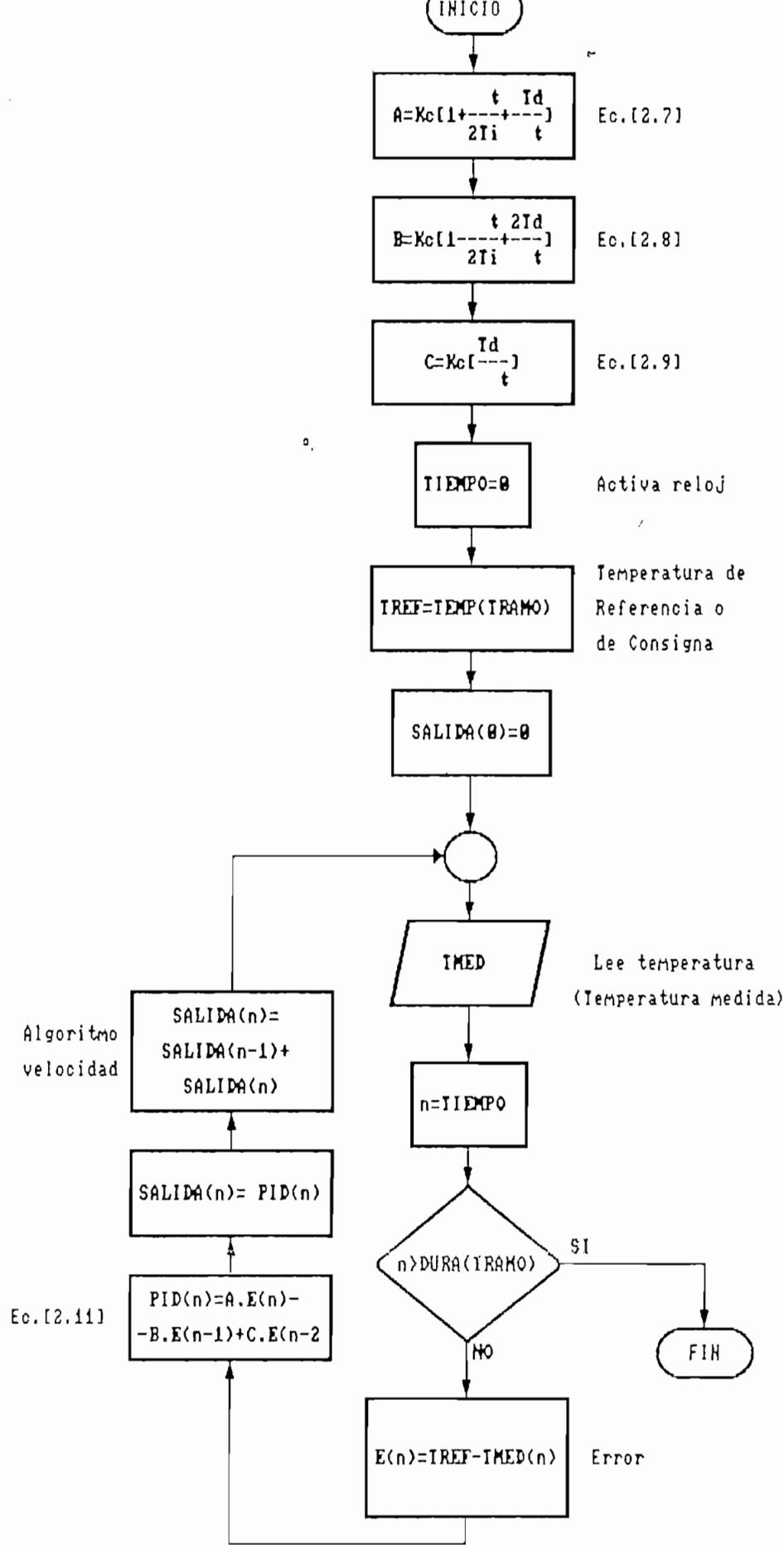


FIGURA 2.5 SUBROUTINA ESTABILIZAR

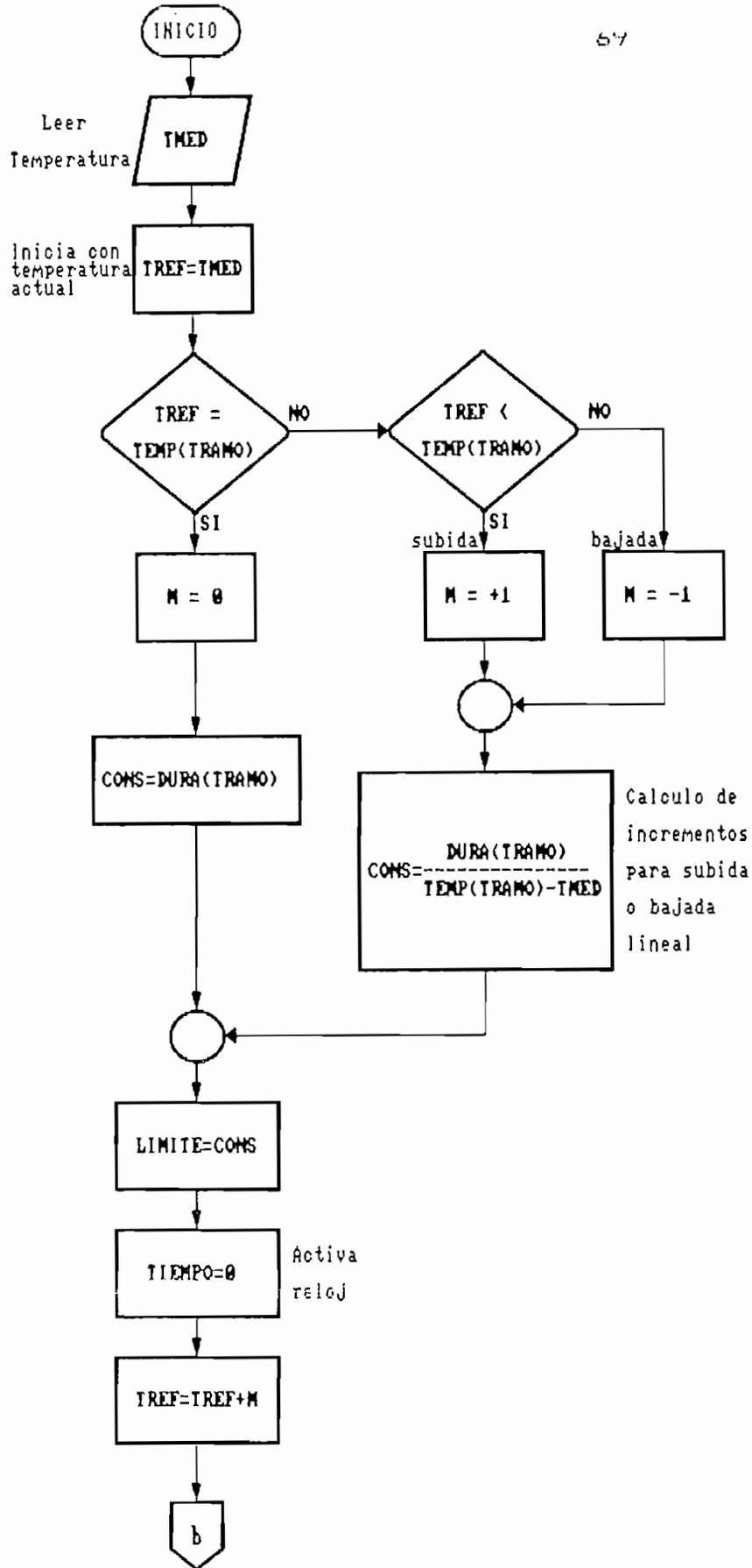


FIGURA 2.6(a) SUBROUTINA Alcanzar

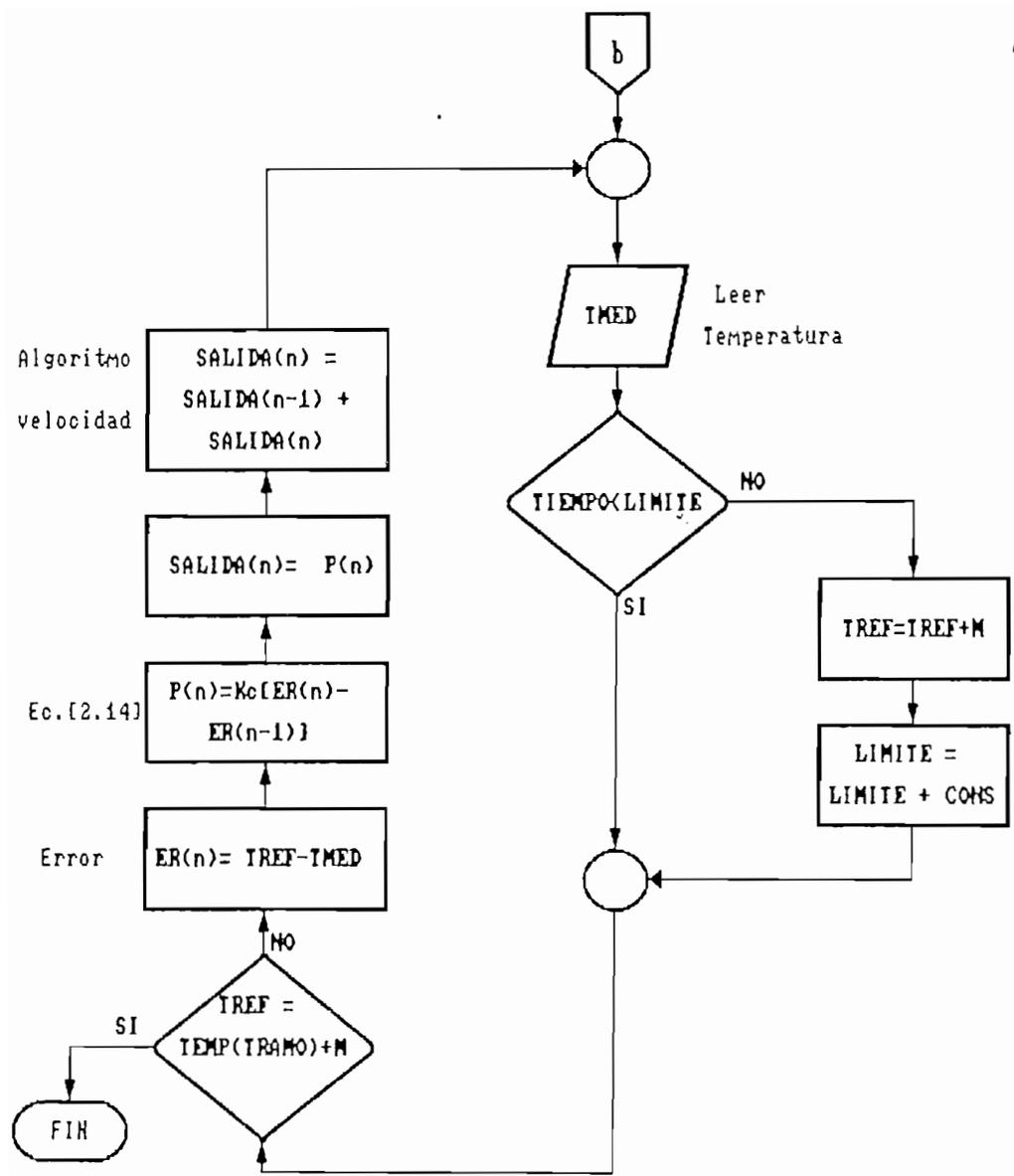


FIGURA 2.6(b) SUBRUTINA Alcanzar (cont.)

2.3.2 MODULO 2: Parámetros

En este módulo, el operador define los parámetros con los que va a trabajar el sistema. Existen dos tipos de parámetros: parámetros del controlador y parámetros auxiliares.

Los parámetros del controlador son K_c , T_d y T_i ,³ y son las constantes ajustables de la acción de control PID, de acuerdo con la ecuación [2.1]. Los parámetros auxiliares, son aquellos que tienen que ver con el transmisor, con el actuador y con la planta, y son los siguientes:

- Límites de temperatura

MAXIMA Y MINIMA.-

Límites de temperatura superior e inferior, impuestos por el transmisor, por la planta o por ambos.

- Pendientes máximas

CALENTAMIENTO Y

ENFRIAMIENTO.-

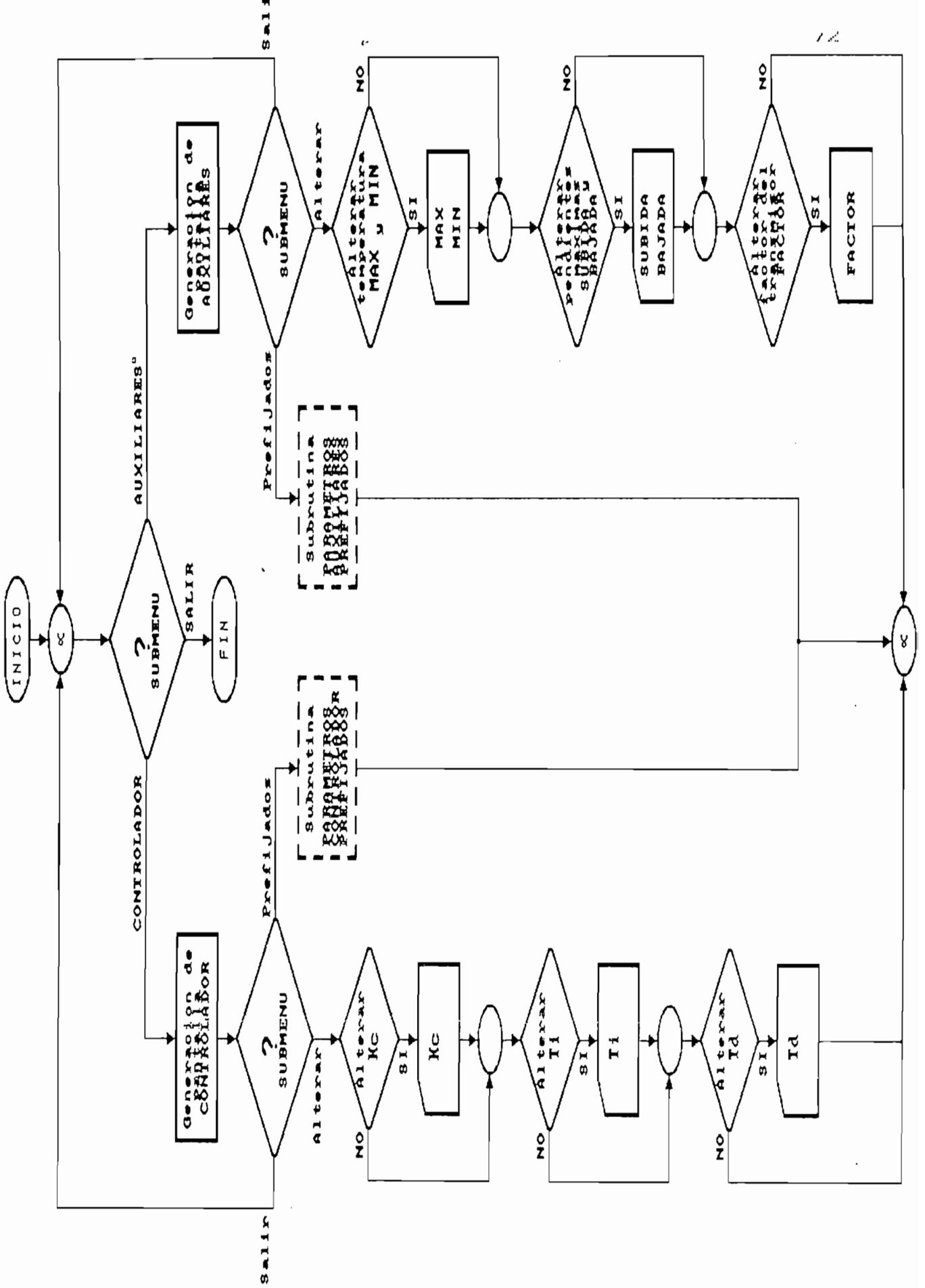
Límite de la velocidad de crecimiento o decrecimiento de la temperatura, expresada en °C/min. Es un limitante del actuador.

- Factor del transmisor

FACTOR.-

Constante por la que hay que multiplicar al valor de voltaje proveniente del transmisor para presentar la lectura en °C. Se lo expresa en °C/voltios.

El módulo 2 ha sido implementado para que el operador pueda definir y cambiar cualquiera de los parámetros mencionados, con un adecuado sistema de edición. El diagrama de flujo del módulo se muestra en la FIGURA 2.7.



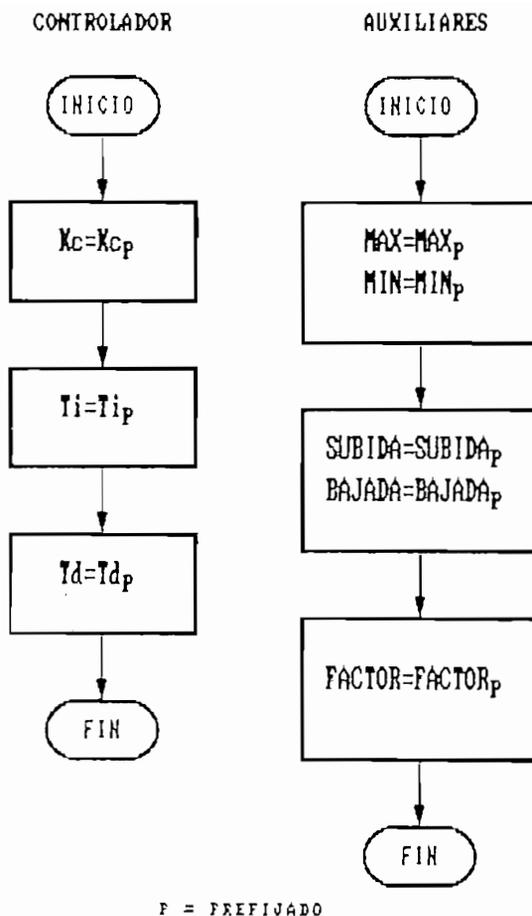


FIGURA 2.8 SUBROUTINAS DE PARAMETROS PREFIJADOS

2.3.3 MODULO 3: Control manual

En este módulo se permite activar el actuador, sin la intervención del control automático. En el monitor del computador se presenta simultáneamente la lectura de la temperatura y la visualización de la cantidad de energía entregada.

El diagrama de flujo del presente módulo se presenta en la FIGURA 2.9.

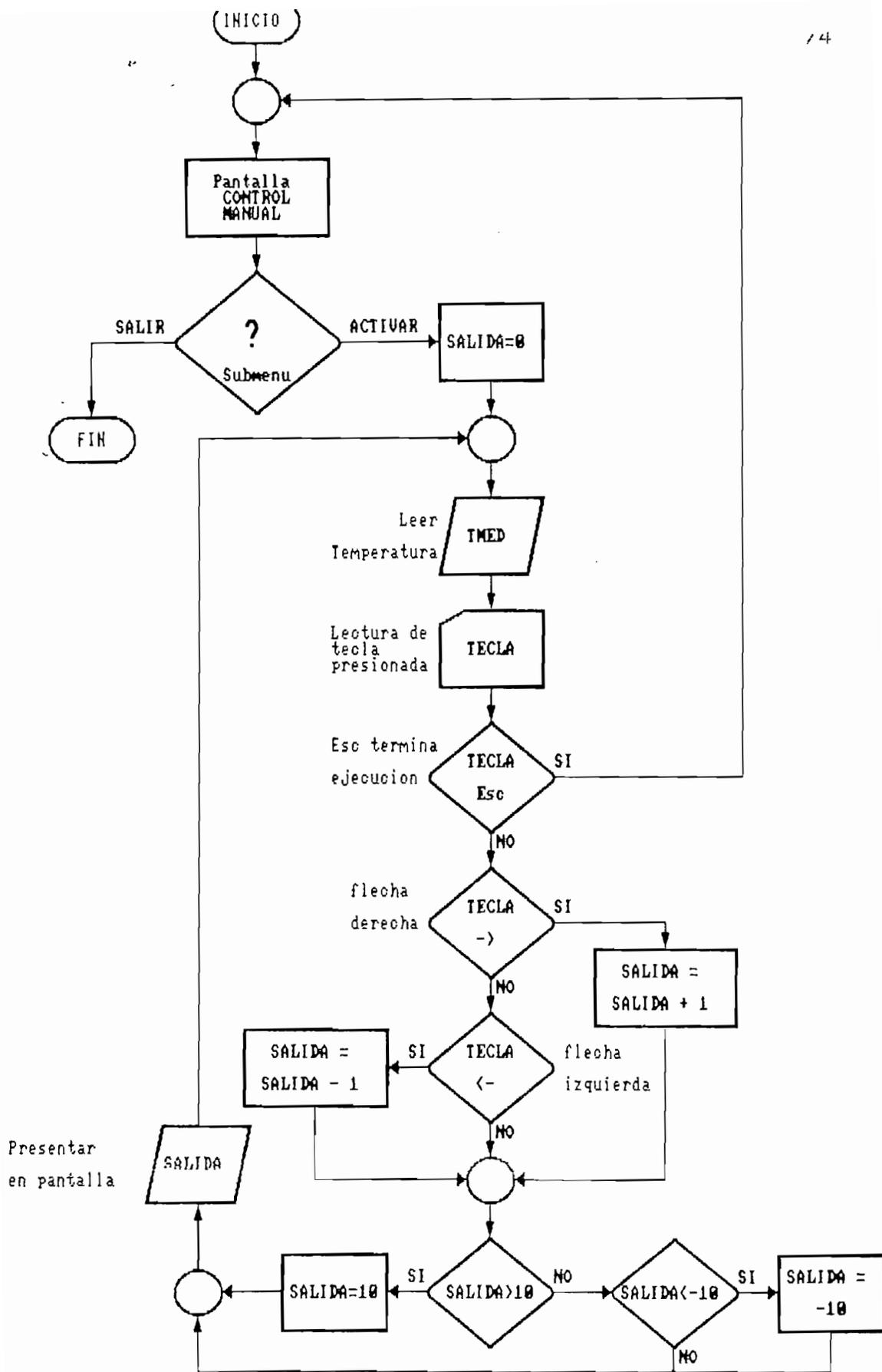


FIGURA 2.9 MODULO 3 : Control manual

2.3.4 MODULO 4: Gráficos

El objetivo de este módulo, es obtener la representación gráfica de la respuesta del sistema, a la acción del controlador. La graficación se la realiza por medio del programa QUATTRO. Para ingresar al QUATTRO desde BASIC, se utiliza una instrucción SHELL y un macro autoejecutable, con lo cual el operador² prácticamente no necesita conocer nada sobre el manejo del QUATTRO.

La FIGURA 2.10, ilustra el diagrama de flujo del módulo.

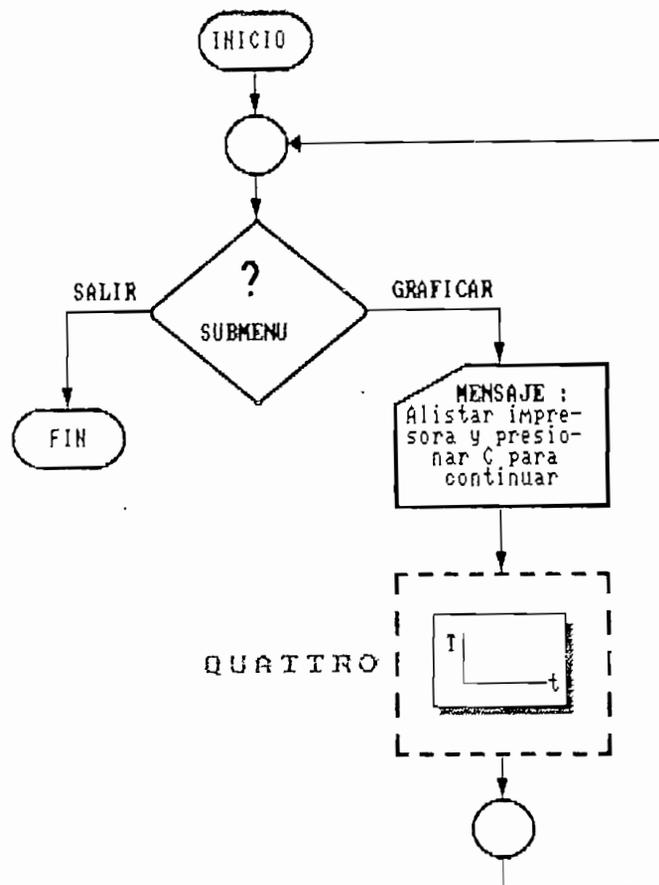


FIGURA 2.10 MODULO 4 : Gráficos

2.3.5 MODULO 5: Presentación

El propósito de este módulo es dar al usuario una breve información, sobre COPROTEM. En ella se indican las conexiones de los diferentes canales analógicos y digitales y sus respectivas funciones, lo cual ayuda para una rápida verificación.

2.3.6 MODULO 6: Inicio

En este bloque de instrucciones, tiene las siguientes tres funciones:

- 1) Definición de variables, dimensionamiento de vectores, definición de ganancias para los canales analógicos de entrada, y definición del funcionamiento de los puertos digitales (como entrada o como salida). Además convoca a un conjunto de instrucciones propias del paquete de subrutinas PCLAB, necesarias para su utilización.
- 2) Inicialización de todos los parámetros (auxiliares y del controlador), con los valores prefijados. Los valores de los parámetros prefijados resultan de los resultados experimentales, obtenidos en el sistema completo del simulador de temperatura en líquidos.
- 3) Presentar el menú principal

2.3.7 Mapa del programa

Se presenta en este apartado, el mapa general del listado de instrucciones de COPROTEM. En él aparecen los números de línea de principio de cada módulo y subrutina. El mapa se muestra en la FIGURA 2.11.

10	MODULO 6 INICIO	4210	SUBROUTINA Marcar linea	5440	SUBROUTINA Leer temperatura	9040	SUBROUTINA Menu parametros
910		4250		5620		9410	
920	MODULO 1 Programa	4270	SUBROUTINA Marcar barra	5630	SUBROUTINA Verificar equipos	9420	SUBROUTINA Pantalla "Parametros auxiliares"
1410		4340		5900		10710	
1420	MODULO 2 Parametros	4360	SUBROUTINA Borrar fila	5910	SUBROUTINA Programar	10720	SUBROUTINA Alterar parametros auxiliares
1660		4400		6800		11080	
1670	MODULO 3 Control manual	4420	SUBROUTINA Ingreso de datos	6810	SUBROUTINA Ejecutar	11090	SUBROUTINA Parametros auxiliares
2470		4880		8030		11160	
2480	MODULO 4 Graficos	4890	SUBROUTINA Generacion de menu	8040	SUBROUTINA Pantalla "Parametros controlador"	11180	SUBROUTINA Interrupcion de emergencia
2770		5120		8160		11400	
2780	MODULO 5 Presentacion	5130	SUBROUTINA ACCION "P"	8170	SUBROUTINA Alterar parametros controlador	11440	Definicion del archivo PCLAB BASIC
3490		5170		8820		11370	
3500	SUBROUTINA Pantalla "Programa"	5180	SUBROUTINA ACCION "PID"	8830	SUBROUTINA Pantalla "Control manual"	11400	FIN
3950		5220		9000			
3960	SUBROUTINA Recuadro	5230	SUBROUTINA Enviar senal de actuacion	9010	SUBROUTINA Muestreo de temperatura para graficos		
4190		5430		9030			

FIGURA 2.11 MAPA DE COPROTEM

CAPITULO III

RESULTADOS EXPERIMENTALES

CAPITULO III

RESULTADOS EXPERIMENTALES

En el presente capítulo se describen los procedimientos y los resultados de las pruebas del sistema. Se abordan en primer lugar las pruebas de la circuitería, de las cuales se obtienen las cualidades técnicas del equipo. En segundo lugar se indican los métodos de obtención de algunos parámetros del programa de computación. Por último se realizan pruebas finales del sistema completamente acoplado y en funcionamiento normal.

3.1 Pruebas de la circuitería

3.1.1 Transmisor

El transmisor fue sometido a los siguientes experimentos para determinar: linealidad, repetitividad e histéresis.

Experimento 1:

Linealidad.- se incrementa la temperatura del líquido de 20 a 65 °C y se toman medidas del transmisor y de un termómetro patrón.

<u>PATRON</u>	<u>TRANSMISOR</u>
20	19.7
25	24.8
30	29.8
35	34.9
40	40.8
45	45.5
50	50.2
55	55.7
60	60.5
65	65.6

Experimento 2:

Repetitividad.- se realiza el mismo experimento anterior y se comparan resultados.

<u>PATRON</u>	<u>TRANSMISOR</u>
20	19.6
25	24.7
30	29.7
35	34.7
40	39.7
45	44.5
50	50.0
55	55.1
60	60.2
65	64.9

Experimento 3:

Histéresis.- Se disminuye la temperatura del líquido de 65 a 20 °C y se toman las mismas medidas que en los experimentos anteriores. Se comparan éstas con las del Experimento 1.

<u>PATRON</u>	<u>TRANSMISOR</u>
65	64.6
60	59.7
55	54.7
50	49.7
45	45.8
40	40.7
35	35.2
30	30.3
25	25.2
20	20.1

3.1.2 Actuador

Se realiza un experimento con el fin de determinar la característica de transferencia del actuador. Un segundo experimento consiste en determinar las pendientes máximas de crecimiento y decrecimiento de la temperatura.

Experimento 4.

Característica de transferencia del actuador.- se recorre la señal de control de 0 a 10 V y se mide el voltaje entregado a cada resistencia calefactora y la corriente que por ellas circula. En base a estos datos, se calcula la potencia eléctrica trifásica y se presenta el resultado gráfico.

<u>V control</u>	<u>V fase</u>	<u>I fase</u>	<u>P trifásica</u>
(Vdc)	(V rms)	(A rms)	(w)
0	0.0	0.0	0
1	35.4	4.2	445
2	50.0	6.1	912
3	62.0	7.2	1339
4	69.5	8.6	1793
5	78.0	9.5	2239
6	86.7	10.4	2695
7	94.5	11.0	3120
8	98.1	12.2	3590
9	104.3	12.9	4036
10	111.0	13.0	4329

Experimento 5:

Pendientes máximas.- Se incrementa la temperatura con la máxima potencia del actuador de 20 a 65 °C, y luego se la disminuye hasta 20 °C con el enfriamiento activado. Se miden los valores de tiempo y temperatura, en todo el proceso. Con el objeto de considerar la peor condición se tomarán como máximas pendientes, las menores medidas en el experimento.

Temperatura (°C)	Tiempo (min)
20	0.0
25	5.3
30	9.5
35	14.9
40	19.5
45	24.7
50	29.0
55	34.1
60	39.2
65	45.3
60	47.5
55	50.3
50	52.4
45	53.8
40	54.2
35	56.8
30	58.7
25	62.3
20	71.5

3.1.3 Resumen de resultados

Los resultados gráficos de los 5 experimentos, se los encuentra en el ANEXO C. Las conclusiones que de ellos se desprenden son las siguientes:

TRANSMISOR

Linealidad: El transmisor es lineal en todo el rango de trabajo.

Repetitividad: El transmisor da lecturas iguales para experimentos iguales.

Histéresis: La histéresis del instrumento es muy pequeña y para la mayoría de casos se la puede considerar despreciable.

ACTUADOR

Característica de transferencia: La función de transferencia del actuador es prácticamente una constante, y así se la puede considerar en la mayoría de casos.

Máxima pendiente de calentamiento: Se considera el promedio de 1 °C/min, para casi todo el rango de variación.

Máxima pendiente de enfriamiento: Se toma el promedio en el rango 65 a 25 °C, de 1 °C/min. La pendiente disminuye exageradamente al aproximarse a 20 °C debido al refrigerante utilizado (agua a temperatura ambiente). Esta consideración será de tomar en cuenta en los experimentos que se realicen con este equipo.

3.2 Pruebas del programa

Algunos parámetros utilizados por el programa de computación COPROTEM, que no son seleccionables por el usuario, son determinados experimentalmente a continuación.

3.2.1 Tiempo de muestreo para el control

El tiempo de muestreo para el control es t en las ecuaciones [2.7], [2.8] y [2.9], y tiene que ver con el tiempo de ejecución de la subrutina "Ejecutar".

Como se indicó en el apartado 1.4.2 c, se ha reservado una salida digital para la medición de este tiempo. La prueba consiste en ejecutar el programa realizando un control ficticio y obtener la señal de esta salida en un osciloscopio. El valor en segundos del semiperiodo

de esta onda, corresponde al valor del tiempo de muestreo para el control (t).

El valor es: $t = 0.8$ s

3.2.2 Número de puntos en el gráfico de la respuesta

Durante la ejecución del control automático, el programa realiza un muestreo de datos de tiempo y temperatura con el exclusivo fin de obtener el gráfico de la respuesta. En base a la experiencia adquirida en el tiempo de pruebas del sistema, se ha determinado que en experimentos de hasta 1 hora de duración el número de puntos adecuado es 100.

3.3 Pruebas finales del sistema

Se realizan pruebas con el equipo instalado y en funcionamiento normal. Los experimentos en los cuales, se realizan corridas de COPROTEM para diferentes valores de los parámetros del controlador (K_c , T_i y T_d), tienen como objetivo determinar los límites dentro de los cuales se permitirá al usuario variar éstos, para obtener los efectos deseados en la respuesta del sistema. Además se consigue con estos experimentos, el trio de parámetros, que utiliza COPROTEM como "Parámetros prefijados del controlador".

Por último se programa como ejemplo, una secuencia térmica típica, y se comenta el resultado.

Los resultados gráficos de los experimentos realizados se encuentran en el ANEXO C.

3.3.1 Límites de K_c

El experimento consiste en mantener T_i en un valor máximo, T_d en 0 e incrementar K_c gradualmente, hasta obtener una oscilación constante. Para cada cambio de valor de K_c se debe retornar a la temperatura original, permitir que se estabilice y ejecutar de nuevo, con la misma temperatura de referencia anterior. Los GRAFICOS # 01, 02 y 03 presentan las curvas de la respuesta para los casos extremo inferior, medio y extremo superior respectivamente.

Estos gráficos permiten definir:

K_c máximo = 500

K_c mínimo = 1

El GRAFICO # 05 ilustra el comportamiento de un sistema controlado mediante una acción proporcional, cuya ganancia K_c es muy elevada. El resultado de un tipo de control con esta característica, es idéntico al de un control TODO-NADA (on-off).

3.3.2 Determinación de T_i

Partiendo con un $K_c = 30$ y $T_d = 0$, se tantea con valores de T_i , para eliminar el error en estado estable, tratando de no crear demasiado sobreimpulso. El GRAFICO # 04 muestra un valor de $T_i = 50$ que consigue una respuesta con un sobreimpulso inferior al 4% y con un error en estado estable nulo. Este resultado, difícilmente mejorable con la inclusión de una acción diferencial (T_d diferente a 0), debe tomarse en cuenta para futuros experimentos que se realicen. Se define de este experimento:

T_i medio = 50

3.3.3 Determinación de Td

Con el objeto de observar los efectos del tiempo diferencial Td, y en espera de conseguir rapidez de respuesta ante perturbaciones, se busca un valor de Td que elimine el sobreimpulso. Esto no se logra con ningún valor, como lo dice el GRAFICO # 05, que es un ejemplo representativo, en el cual se probó para un Td = 1, y en el que se observa que el sobreimpulso no disminuye y más bien, su estabilización es menos rápida. Sin embargo se realiza otra prueba en la cual se disminuye el Kc a un valor de 25 y se trabaja con un valor de Td = 0.5 en la cual se espera a que el sistema se estabilice, y se crea una perturbación artificial (a los 18 minutos aproximadamente), como lo muestra el GRAFICO # 06. Se aprecia de esta experiencia que la reacción del control ante la eventualidad de una perturbación es rápida. Por el resultado de esta última prueba, y en base a la experiencia adquirida en todo el periodo de pruebas, en el que se realizaron varios experimentos que no se detallan aquí, se determinan finalmente los "Parámetros prefijados del Controlador":

Kc prefijado = 25

Ti prefijado = 50

Td prefijado = 0.5

3.3.5 Ejemplo de Secuencia térmica

Se desea obtener la secuencia térmica de la FIGURA 3.1.

Se programa la secuencia en COPROTEM de acuerdo al procedimiento detallado en el ANEXO A "Manual de uso", y se ejecuta. Se utilizan para este ejemplo, los Parámetros prefijados del Controlador.

El resultado de esta prueba se la muestra en el GRAFICO # 07. Se observan los tres tipos de tramos posibles, que son subida lineal, estabilización y bajada lineal. En el ejemplo se puede notar la diferencia entre la respuesta en el tramo de subida con el de bajada. Se ve en el tramo de bajada, que el seguimiento a la referencia es irregular, lo cual es explicable, tomando en cuenta que el actuador de enfriamiento, es del tipo TODO-NADA. El problema se hará más crítico cuanto más lenta sea la bajada de temperatura.

Un punto importante a considerarse en este tipo de secuencias, es el hecho de que se elimina completamente el sobreimpulso. Esto está garantizado por supuesto, si se intercalan tramos de seguimiento lineal entre los de estabilización.

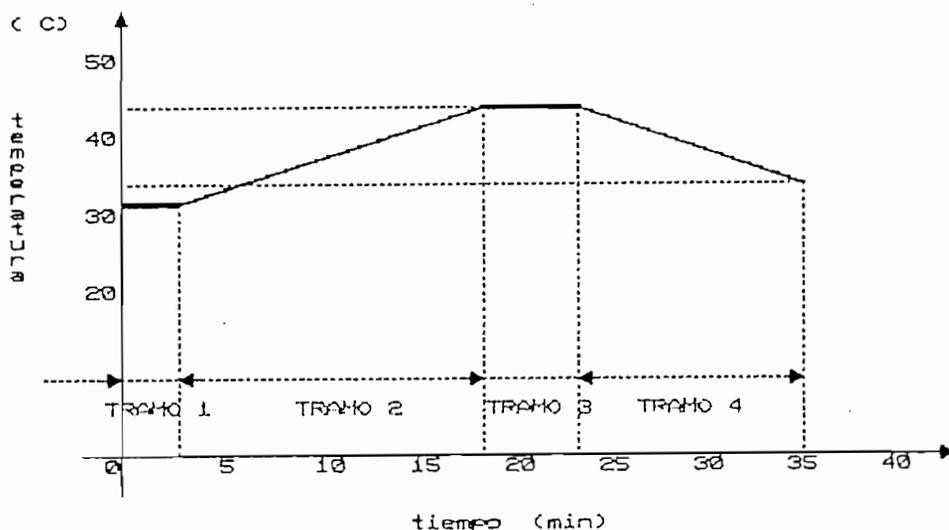


FIGURA 3.1 EJEMPLO DE SECUENCIA TERMICA

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En base a los objetivos planteados y a los resultados obtenidos se puede ahora evaluar al sistema en forma cualitativa. Se destaca por una parte el hecho de que el equipo ha sido probado en todos los experimentos para los que ha sido diseñado, habiendo sido su comportamiento muy satisfactorio. Por otro lado, en base a la experiencia adquirida en el periodo de pruebas, se emiten criterios que han de tomarse en cuenta en futuras investigaciones que se efectuen con este prototipo de laboratorio.

4.1 Conclusiones

4.1.1 El equipo es apropiado para pruebas de transductores sumergibles en agua, en las cuales se quiera obtener las características estáticas y dinámicas de éstos. La posibilidad de tener crecimiento y decrecimiento lineal, así como mantenimiento constante de temperatura con una alta estabilidad le hacen un sistema adecuado para experimentos de contrastación de instrumentos.

4.1.2 La concepción de modular del equipo, permite intercambiar y combinar diferentes tecnologías en instrumentación, por lo que resulta una herramienta didáctica efectiva.

4.1.3 El prototipo de laboratorio, es adecuado para investigación en el campo del Control de Procesos. El usuario puede experimentar con los parámetros del

controlador (K_c , T_i y T_d), puede también alterar condiciones variando, por ejemplo, el caudal del refrigerante por el intercambiador de calor o alterar el caudal de recirculación del líquido cuya temperatura se controla.

4.1.4 Si bien el equipo ha sido diseñado para usos de laboratorio, se le puede considerar como un modelo a escala de un proceso industrial. Modelo en el cual, al igual que en la industria, están presentes simultáneamente factores mecánicos tales como vibración, factores termodinámicos, perturbaciones eléctricas y otros factores aleatorios como la temperatura ambiental.

4.1.5 El elemento primario (sensor de temperatura) utilizado es una termoresistencia RTD del tipo Pt1200 (platino, 0Ω a 0°C); que es uno de los más comunes en la industria. El acondicionamiento de señal del transmisor es en base a un puente de resistencias. El control digital directo, utiliza el algoritmo de velocidad o incremental [8], y está implementado en BASIC en un computador personal compatible con IBM. La adquisición de datos se la realiza a través de la tarjeta DATA TRANSLATIONS DT2B05 instalada en una de las ranuras de expansión del sistema del computador. El actuador realiza una regulación de la potencia eléctrica en el calentamiento del tipo ciclo integral, mientras que para el enfriamiento utiliza un sistema de recirculación e intercambiador de calor, controlando el paso de refrigerante mediante una electroválvula.

4.1.6 El costo del equipo en la parte electrónica ⁽¹⁾ (hardware), se lo estima de acuerdo al siguiente cuadro:

	sucres	año de compra
- Sensor de temperatura (RTD) y accesorios	18.000.00	1987
- Tarjeta DT2805 ⁽²⁾ y accesorios	344.300.00	1987
- Transmisor de RTD	45.000.00	1989
- Actuador	130.000.00	1989
- Cajas de equipos y accesorios en general	60.000.00	1989

NOTAS: (1) No está considerado el costo del computador personal ni de la impresora.

(2) La tarjeta de adquisición de datos, tiene mayor capacidad que la utilizada, por tanto su costo no se le puede adjudicar exclusivamente a esta Tesis.

4.2 Recomendaciones

4.2.1 Cuidado del equipo

El equipo construido no ha sido diseñado para soportar maltrato en el manejo o en el transporte. La tecnología utilizada en las tarjetas electrónicas es "wire wrapping", lo que por su parte demanda que se tomen precauciones al removerlas y reconectarlas. En cuanto a errores de conexión, el equipo prevee algunos de ellos en base a protección con fusibles, sin embargo no todo está previsto, y por lo tanto es deber del usuario estar seguro de las conexiones antes de energizar el equipo. Por último, en operación normal es recomendable seguir estrictamente la secuencia de trabajo indicada en el ANEXO A "Manual de uso", con el objeto de garantizar

funcionamiento correcto y vida util prolongada.

4.2.2 Limitaciones del equipo

El transmisor de RTD garantiza las características de linealidad, repetitividad e histéresis, en el rango de 0 a 100 °C, o en su defecto, con pequeños cambios en la circuitería y calibraciones, puede trabajar perfectamente en otros rangos pero nunca con recorridos totales mayores a los 100 °C.

En cuanto a la transmisión en corriente del transmisor, habrá que asegurarse que la carga del receptor no supere los 500Ω.

La señal de control que ingresa al actuador, debe tener una pequeña histéresis alrededor de los 0 V (-0.1 a 0.3 V aproximadamente), para garantizar una conmutación limpia entre el sistema de calentamiento y el de enfriamiento.

En el programa de computación que permite la programación de secuencias térmicas y su ejecución, eventualmente puede ocurrir que la pantalla se desfigure, o se abandone inadvertidamente el programa. Para remediar este último problema, se sugiere seguir las indicaciones del ANEXO A "Manual de uso".

El usuario debe tener presente que el sistema de enfriamiento es en base a un intercambiador de calor cuyo refrigerante es agua a temperatura ambiente. Por esta razón, debe evitarse el realizar experimentos en rangos cercanos a la temperatura ambiente, en los cuales, factores como velocidad de enfriamiento se ven afectados drásticamente.

4.2.3 Utilidad del equipo

El sistema construido ha sido instalado en el laboratorio de Instrumentación de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, y se presta para ampliarse y mejorarse en el futuro. En base a la estructura de Instrumentación instalada, se pueden incorporar nuevos controladores, utilizando la misma tarjeta de adquisición de datos, la cual al momento de concluir este trabajo, está subutilizada. El desarrollo de paquetes de software, se justifica plenamente, ahora que se puede poner en práctica toda la teoría de los Sistemas de Control en un proceso real, ya que se cuenta con todos los elementos del lazo de control ya construidos.

REFERENCIAS

- [1] BARAJAS Luis, La instrumentación y operación de procesos en la industria ecuatoriana, Anales de las Jornadas Eléctricas y Electrónicas, Vol 8, Quito, Mayo 1987
- [2] ANALOG DEVICES, Transducer Interfacing Handbook, Norwood, Mass., 1980
- [3] KAUFMAN Milton, Manual para Ingenieros y Técnicos en Electrónica, MacGraw-Hill, México, 1982
- [4] DATA TRANSLATION, User Manual for DT2801 Series, Data Translation Inc., Marlborough, 1985
- [5] INTEL, Microcontroller Handbook, Santa Clara, CA., 1984
- [6] NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION, CMOS Databook, Santa Clara, CA., 1981
- [7] DATA TRANSLATION, PCLAB User Manual, Version V 02.00, Data Translation Inc., Marlborough, 1985
- [8] AUSLANDER David, Introducción a Sistemas y Control, MacGraw-Hill, México, 1974
- [9] OMEGA, Complete Temperature Measurement Handbook and Encyclopedia, Omega Engineering Inc., 1987

A N E X O S

ANEXO A

" MANUAL DE USO "

CONTROL PROGRAMABLE DE TEMPERATURA C O P R O T E M

INTRODUCCION

COPROTEM es un sistema de software de control programable, concebido como un instrumento de apoyo (tanto de laboratorio como industrial) en procesos de tratamiento térmico definido en márgenes amplios de temperatura y tiempo. Mediante su utilización, un operador sin mayor experiencia informática previa puede establecer fácilmente, a través de un teclado, la secuencia térmica deseada, la cual será ejecutada por el controlador, mediante acciones P/PID en cada uno de los tramos.

Los tramos pueden ser de tres tipos:

- a) Subidas lineales de la temperatura hacia una cota cualquiera, en un intervalo de tiempo programable, mediante la instrucción *Alcanzar* (A).
- b) Estabilizaciones de la temperatura durante un tiempo programable, con la instrucción *Estabilizar* (E).
- c) Bajadas lineales de la temperatura hacia una cota cualquiera en un intervalo de tiempo programable,

con la instrucción *Alcanzar* (A).

REQUERIMIENTOS DE COPROTEM

Para el correcto funcionamiento de COPROTEM se requiere como mínimo lo siguiente:

- 1) Computador IBM PC o compatible con las siguientes características mínimas:
 - Procesador: i8086 / i8088
 - Memoria : 640 K
 - Almacenamiento masivo: 1 unidad de disco fijo de 20 Mbytes
 - Puertos de E/S: 1 RS232-C
1 puerto paralelo Centronics
1 puerto para video
 - Ranuras de expansión: 5
 - Monitor color/monocromático

- 2) Tarjeta DATA TRANSLATION DT2805 instalada en una de las ranuras de expansión del sistema del computador IBM PC o compatible.

- 3) Impresora de 80 columnas (eg. EPSON LX-800), o PLOTTER (eg. 7475A PLOTTER HEWLETT PACKARD).

- 4) La estructura de paquetes de software que se detalla en la FIGURA A.1

En el archivo AUTOEXEC.BAT debe existir la línea:

```
SET BASIC=C:\DOS\GWBASIC.EXE
```

En el archivo CONFIG.SYS debe existir la línea:

```
DEVICE=\PCLDRV.SYS
```

El archivo C.BAT tiene el propósito de advertir al usuario sobre el entorno necesario para la utilización de COPROTEM, y le guía en el proceso de ingreso.

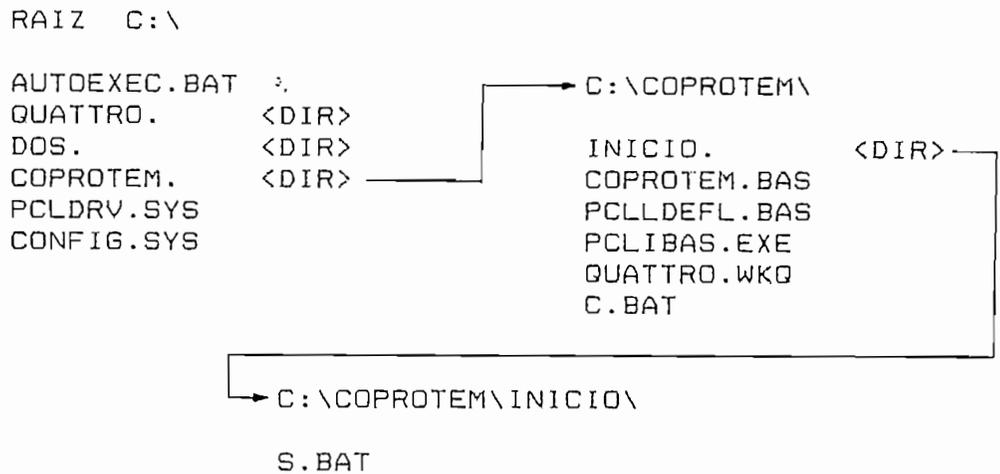


FIGURA A.1 ESTRUCTURA DE SOFTWARE

El archivo S.BAT contiene el comando que desencadena la ejecución de COPROTEM. En el debe existir la línea:

```
PCLLDR COPROTEM.BAS
```

CONOCIMIENTOS MINIMOS DEL USUARIO

El usuario de COPROTEM debe tener al menos un conocimiento elemental de computadores personales y de los comandos básicos del sistema operativo DDS 3.3

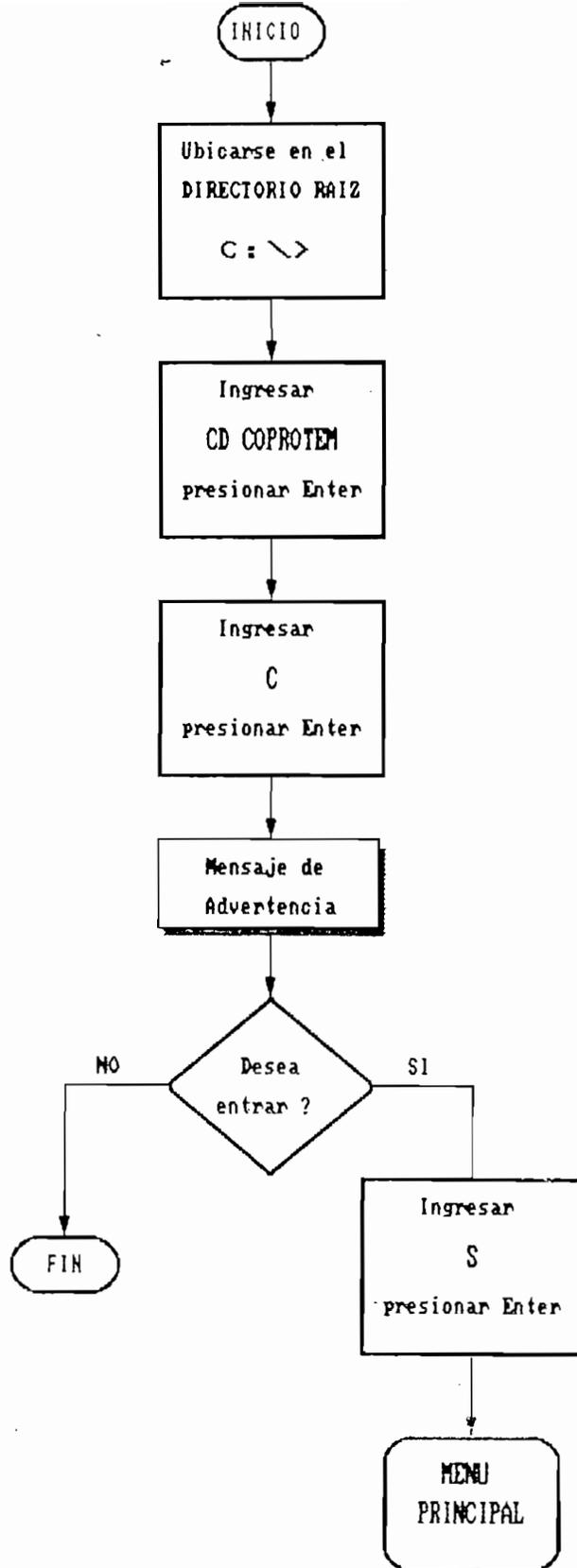


FIGURA A.2 PROCEDIMIENTO DE INGRESO A COPROTEM

INGRESO A COPROTEM

La FIGURA A.2 presenta el diagrama de flujo que ilustra el procedimiento de ingreso a COPROTEM.

ORGANIZACION MODULAR DE COPROTEM

COPROTEM tiene una organización en base a módulos, cuyo esquema se presenta en la FIGURA A.3, en donde se observa que no existe una secuencia obligatoria entre los módulos, es decir el usuario puede indistintamente seleccionar cualquiera, comenzando eso si obligatoriamente por el MENU PRINCIPAL.

Para seleccionar una opción del MENU, utilizando las flechas, se posiciona la zona sombreada sobre la opción deseada o se presiona el número correspondiente y luego se presiona Enter. Este procedimiento sirve para todos los submenús que aparecen luego.

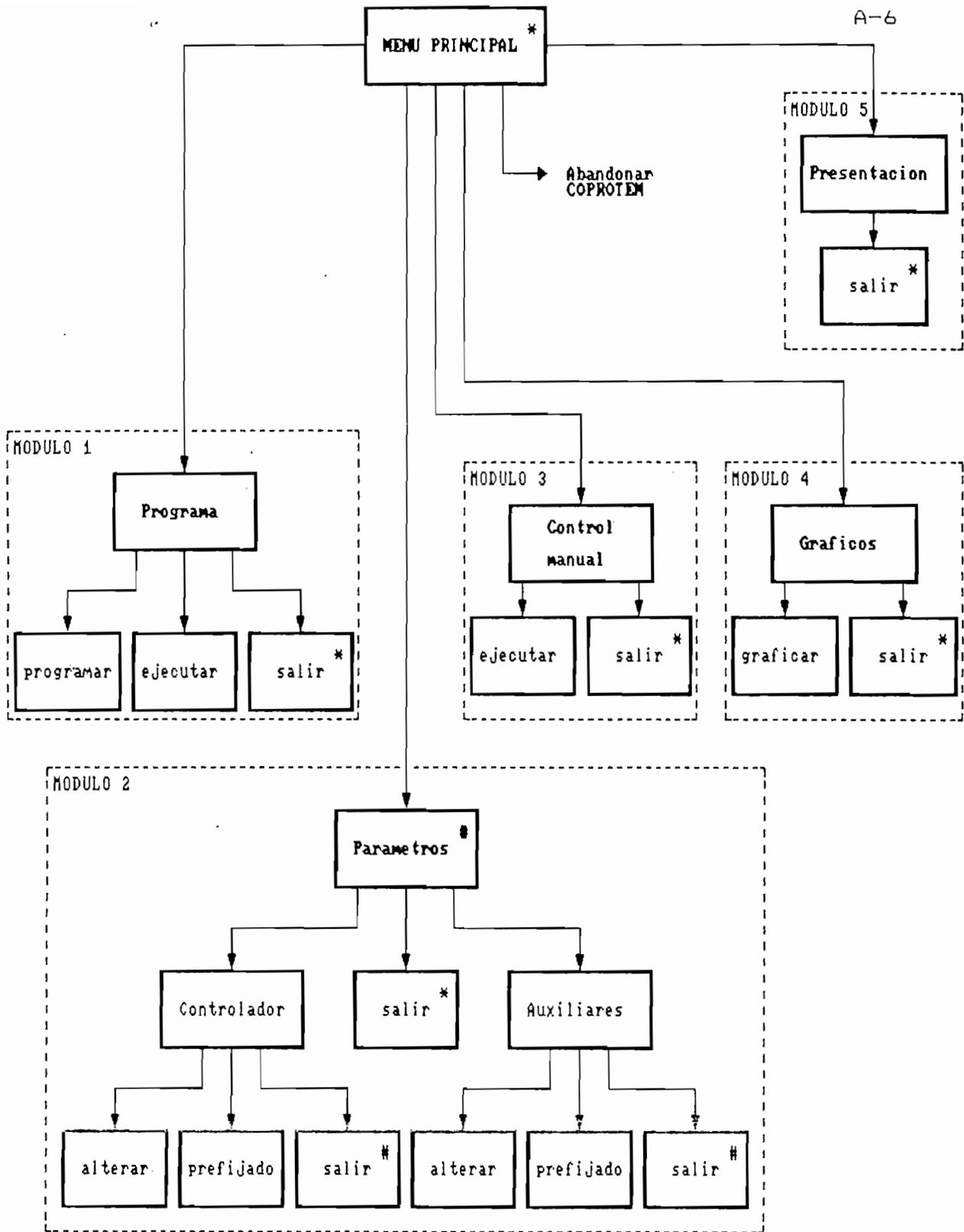


FIGURA A.3 ORGANIZACION DE COPROTEM

MODULO 1: Programa

En este módulo el usuario registra la secuencia térmica deseada y la ejecuta. Mediante el siguiente ejemplo se ilustra a continuación su manejo.

Ejemplo: Se desea generar la secuencia térmica de la FIGURA A.4.

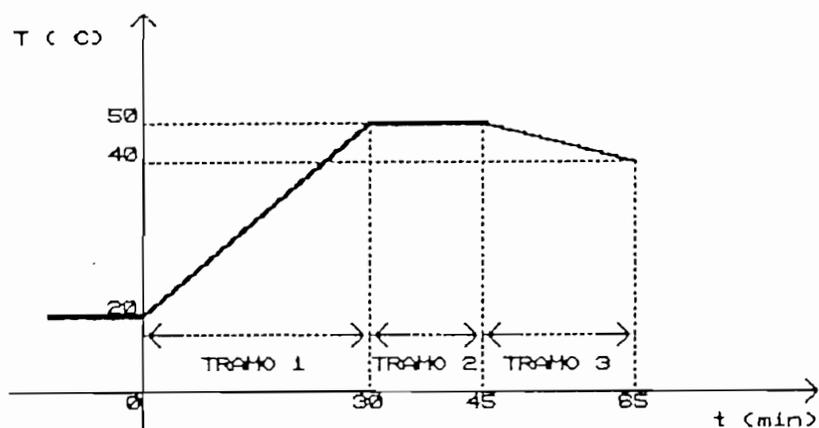


FIGURA A.4 EJEMPLO DE SECUENCIA TERMICA

COPROTEM

P R O G R A M A

Pendientes maximas

CALENTAMIENTO : 1 °C/min
ENFRIAMIENTO : 1 °C/min

Límites de temperatura

MAXIMO = 65 °C
MINIMO = 20 °C

TEMPERATURA = 10.2°C

T. AUXILIAR = 0.0°C

TRAMO	INSTRUCCION	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (min)
-------	-------------	---------------------	-----------------

Alcanzar Estabilizar Finalizar

(1) Programar (2) Ejecutar (3) Salir

FIGURA A.5

COPROTEM

P R O G R A M A

CALENTAR

ENFRJAR

T. Ref.

TEMPERATURA = 0.3°C

T. AUXILIAR = 0.0°C

TRAMO	INSTRUCCION	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (min)

FALLA EN : Transmisor

Alt-F10 Interrupción de emergencia
Reponer fallas y presionar C para continuar

FIGURA A.6

NOTA: Las FIGURAS A.5 y A.6 muestran las pantallas que se utilizan durante la programación y ejecución respectivamente.

<u>ACCION</u>	<u>COMENTARIO</u>
- Verificar funcionamiento del transmisor !!	
- Observar las limitaciones indicadas en la parte izquierda de la pantalla !	
- Seleccionar opción Programar	- El cursor aparece en la posición debajo de la etiqueta INSTRUCCION y a la derecha de TRAMO 1
- Presionar A	- Indica que en el tramo 1, la variación de la temperatura será en forma lineal. El cursor se localiza ahora bajo la etiqueta TEMPERATURA.
- Ingresar 50 y presionar Enter	- Se ha registrado la temperatura final del tramo 1. El cursor se posiciona bajo la etiqueta TIEMPO
- Ingresar 30 y presionar Enter	- Se ha registrado la duración del tramo 1. Ahora el cursor está en la línea del tramo 2 y bajo INSTRUCCION
- Presionar E	- Se instruye que el tramo 2 sea de estabilización de la temperatura. El cursor se mueve a la columna TEMPERATURA
- Ingresar 50 y presionar Enter	- Se registra la temperatura de estabilización. El cursor se mueve a TIEMPO
- Ingresar 15 y presionar Enter	- Se registra la duración del tramo 2. Se pasa al siguiente tramo
- Presionar A	- Instrucción

- Ingresar 40 y presionar Enter
- Ingresar 20 y presionar Enter
- Presionar F
- Temperatura final
- Duración
- Se define la terminación de la secuencia térmica. Aparece el submenú en la parte baja de la pantalla

Ejecutar

<u>ACCION</u>	<u>COMENTARIO</u>
- Verificar el funcionamiento del transmisor y del actuador	
- Seleccionar la opción Ejecutar	- Comienza la generación de la secuencia térmica con duración total de 65 minutos, al cabo de los cuales se da una señal audible y se retorna a la pantalla con el submenú en la parte inferior
- Seleccionar la opción Salir	- Retorna a MENU PRINCIPAL

Mensajes durante la programación

Cuando los datos ingresados por el usuario no son compatibles con los esperados por el programa, se despliega en la pantalla alguno de los siguientes mensajes con el propósito de orientar al usuario.

- 1) " Solo se permiten A, E o F "

El usuario pretende ingresar caracteres diferentes a los señalados. Se permiten mayúsculas o minúsculas.

- 2) " Valor debe estar entre X e Y "
Se ha ingresado un valor de temperatura fuera del rango señalado en la parte izquierda de la pantalla.
- 3) " Pendiente ilegal "
Se ha ingresado un tiempo que exige una pendiente mayor a la indicada como límite en el tramo que se programa en ese momento.
- 4) " Pendiente ilegal en el Tramo 1 "
Igual que el mensaje anterior pero considerando el valor de la temperatura leído al momento de ingresar en la opción Programar.
Advertencia: Si al momento de seleccionar la opción Programar, se encuentra apagado el transmisor, el valor leído es incierto. Por este motivo, este mensaje puede salir incluso habiendo encendido luego el transmisor e ingresando valores de tiempo que resulten en pendientes legales. La solución es presionar F como instrucción del 1^{er} tramo y seleccionar de nuevo la opción programar.

Información durante la ejecución

- 1) Aparece el mismo cuadro que se utilizó para la programación, indicado esta vez en zona sombreada, el tramo que se está ejecutando.
- 2) En la esquina superior izquierda aparecen:
 - a) Tiempo de ejecución del tramo actual
 - b) Señales de control CALENTAR y ENFRIAR en el rango de 0 a 10
 - c) Temperatura medida por el transmisor Principal (utilizado para el control)

- d) Temperatura medida por el transmisor Auxiliar (si existe)
- e) Temperatura de referencia

Mensajes durante ejecución

- 1) " Alt-F10 Interrupción de Emergencia "

Aparece permanentemente en la pantalla e indica que para interrumpir la ejecución en caso necesario, se debe presionar las teclas Alt y F10 simultáneamente.

- 2) " Falla en Equipo X

Reponer fallas y presionar C para continuar "

Indica que uno o más de los equipos utilizados (transmisor o actuador), no han sido encendidos o tienen un desperfecto. Si el daño es temporalmente irreparable, se puede salir de COPROTEM del siguiente modo:

 - Asegurarse que Caps Lock haya sido desactivado
 - Presionar Ctrl y Break simultáneamente.

Mensaje al final de la ejecución

- 1) " Tiempo insuficiente para la estabilización "

Se despliega si por una eventualidad, no se alcanzó la temperatura de consigna, con un error mayor a los 2 °C. Posibles razones para ésto son:

 - Trabajo defectuoso del actuador
 - Parámetros del controlador que ocasionaron una alta inestabilidad
 - Alteración de los parámetros auxiliares del sistema, excediendo las posibilidades del mismo.

POSIBLES PROBLEMAS Y SUS SOLUCIONES

PROBLEMA	SOLUCION
- Se ha presionado Ctrl-Break y en lugar de salir de COPROTEM, aparece el mensaje del GWBASIC: Break in ____ OK_	-Presionar F2 y reiniciar todo el trabajo
- Se desfigura una porción de la pantalla	-No tomar ninguna acción. El problema no afecta a COPROTEM

MODULO 2: Parámetros

Controlador.- permite al usuario alterar los parámetros del controlador prefijados. Los parámetros que pueden alterarse son: K_c , T_{int} y T_{der} de la función de transferencia:

$$G_c(s) = K_c \left[1 + \frac{1}{s \cdot T_{int}} + s \cdot T_{der} \right]$$

Auxiliares.- permite alterar los siguientes parámetros:

- Pendientes máximas
- Límites de temperatura
- Factor del transmisor Principal [$^{\circ}\text{C}/\text{V}$]
- Factor del transmisor Auxiliar (si existe) [$^{\circ}\text{C}/\text{V}$]
- Tiempo de muestreo para lectura (en control manual solamente)

El procedimiento para la edición de los parámetros se presenta en la FIGURA A.7.

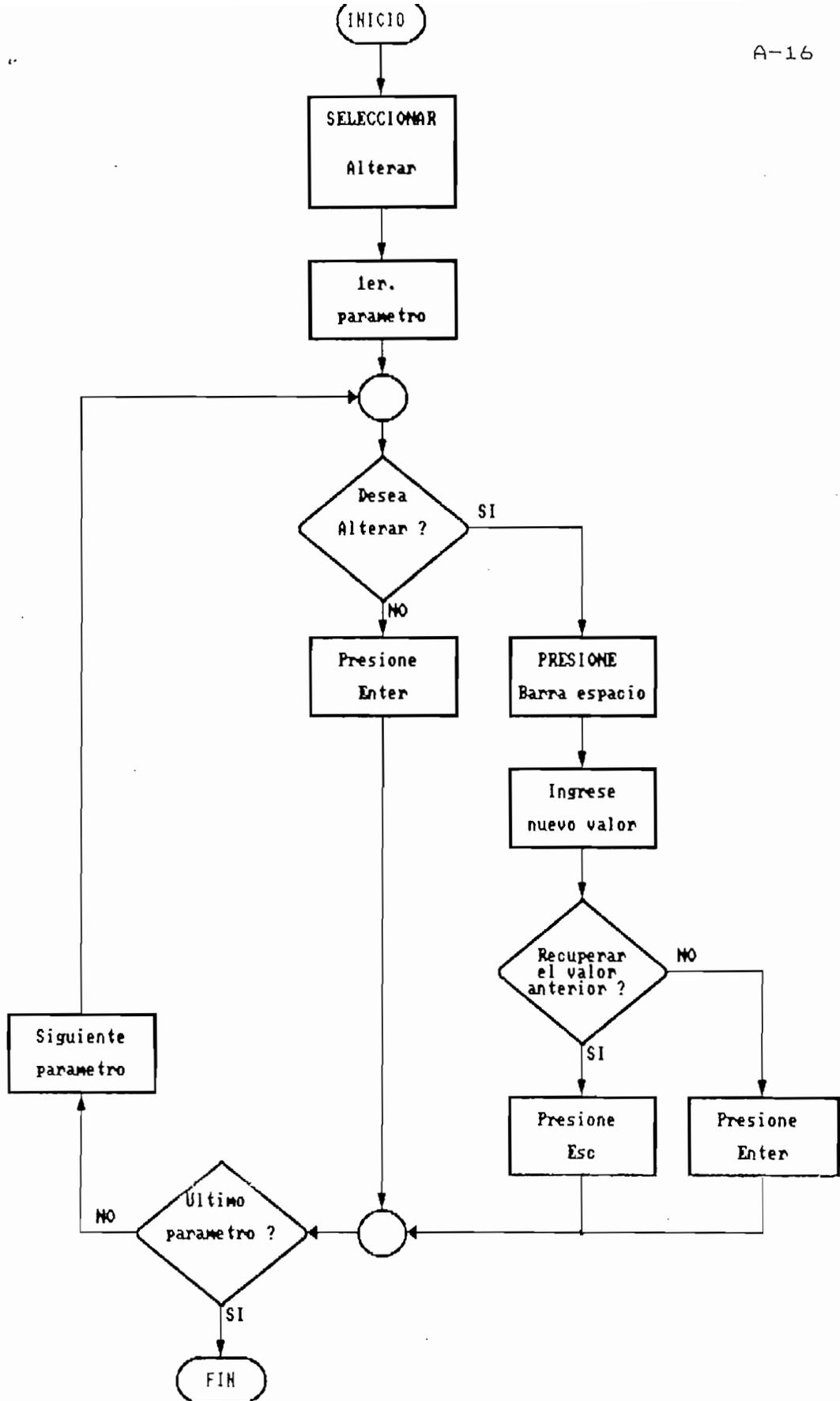
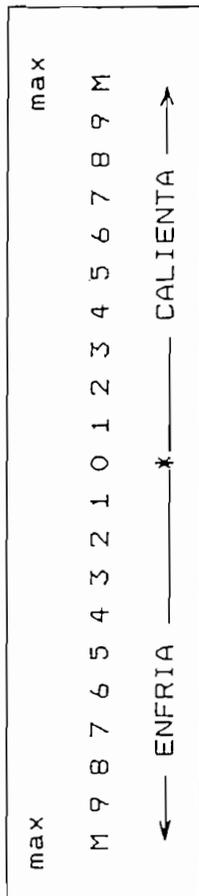


FIGURA A.7 PROCEDIMIENTO PARA ALTERAR PARAMETROS

COPROTEM

CONTROL MANUAL



TEMPERATURA = 0.4°C

T. AUXILIAR = 0.0°C

(1) Activar (2) Salir

FIGURA A.8

MODULO 3: Control manual

Este módulo permite controlar manualmente al actuador del sistema. Al escoger esta opción, aparece en la pantalla un recuadro en el cual se visualizan las dos acciones posibles de actuador: ENFRIAR y CALENTAR. La información de la temperatura tanto del transmisor principal como la del auxiliar, se muestran permanentemente.

Para activar el control manual, seleccionar Activar y controlar el sentido y la potencia del actuador con las flechas del teclado. Los valores entre 0 y 10 para calentar y enfriar, dan una idea del porcentaje de potencia entregada.

Para terminar el control manual, presionar Esc.

La pantalla de control manual se muestra en la FIGURA A.8.

MODULO 4: Gráfico

Permite obtener el gráfico de la respuesta del sistema luego de haber concluido una secuencia programada.

Ingresar seleccionando la opción correspondiente y seleccionar la presentación del gráfico en pantalla o en papel, mediante las opciones de los menús que aparecen.

NOTA: En este módulo, se abandona COPROTEM temporalmente y se ingresa al QUATTRO. Puede ocurrir eventualmente que el usuario quede atrapado en este programa. Si el

usuario no esta familiarizado con éste, debe seguir las instrucciones mostradas en la parte derecha de la pantalla, y abstenerse de ejecutar comandos que no conozca. Si en cambio, el usuario tiene experiencia con el QUATTRO, puede obtener de éste mayor provecho del programado en COPROTEM, utilizando las opciones para amplificar sectores de los gráficos obtenidos, etc. En ningún caso, sin embargo, debe tratarse de alterar el macro.

MODULO 5: Presentación

Breve indicación de lo que COPROTEM requiere para trabajar y cuadro de interconexiones con el transmisor y con el actuador, para una rápida verificación.

MANEJO DEL TRANSMISOR DE RTD

El transmisor tiene un interruptor de encendido designado FUENTE. El encendido se indica por el LED verde ubicado sobre el interruptor.

El transmisor recibe la señal de la RTD a través del conector especial de 3 vías, designado ENTRADA - RTD. La ausencia del elemento sensor es indicado por el LED rojo, ubicado debajo de la palabra ENTRADA. Para iniciar la transmisión, se debe presionar el pulsante LISTO (rojo) y la indicación de esto es el encendido del LED verde ubicado debajo de la etiqueta SALIDA.

El transmisor tiene una salida hacia el controlador remoto, que le indica a este que está funcionando.

Para inhibir la transmisión sin apagar el equipo, se presiona el pulsante negro.

La alimentación del transmisor es $\pm 12 V_{DC}$, a través de tres jacks en la parte posterior del instrumento.

MANEJO DEL ACTUADOR

El encendido del actuador es mediante el interruptor designado RED. La alimentación es trifásica.

Una vez energizado el equipo, se tiene igualmente energizadas las fuentes de $\pm 12 V_{DC}$.

Mediante el interruptor BOMBA se acciona ésta, que sirve para la recirculación del líquido a través del

intercambiador de calor.

Se verifica la energización de las tres fases, mediante 3 LEDs de color verde, designados L1, L2 y L3 ubicados debajo de la etiqueta ALIMENTACION.

Las señales de control entran siempre por 2 canales: uno de calentamiento (↑) y otro de enfriamiento (↓), ya sea por voltaje o por corriente. La selección de esto último se lo hace mediante el interruptor ubicado dentro del recuadro SEÑALES DE ENTRADA DE CONTROL.

El sistema comienza a recibir información, al presionar el pulsante rojo, debajo de la etiqueta listo, en la esquina superior derecha del panel. El LED verde próximo, se enciende. El pulsante negro inhibe la recepción de información.

En la parte inferior derecha del panel están dos LEDs, junto a la etiqueta TEMPERATURA. El rojo (↑) indica que la acción del actuador es en el sentido del calentamiento, mientras que el verde (↓) indica que es en el sentido del enfriamiento.

Al igual que el transmisor, el actuador dispone de una salida hacia el control remoto que le indica su correcto funcionamiento.

OPERACION DEL SISTEMA COMPLETO

A continuación se describe el orden que se debe seguir, para el correcto desempeño del equipo. Aparte de ser una secuencia lógica, tiene la ventaja de evitar un

posible daño de los circuitos electrónicos, debido a pulsos creados durante el encendido y apagado de la bomba.

- 1) Encender el actuador
- 2) Comprobar que las válvulas de paso de la bomba y del intercambiador de calor estén abiertas
- 3) Encender la bomba. Permitir que la temperatura del agua se homogenice por un par de minutos
- 4) Presionar LISTO del actuador
- 5) Encender el transmisor
- 6) Presionar LISTO del transmisor
- 7) Preparar el controlador (programar secuencia de trabajo, setear temperatura de consigna, etc.)
- 8) Ejecutar

Al finalizar la sesión

- 9) Apagar el transmisor
- 10) Presionar el pulsante negro del actuador
- 11) Apagar la bomba
- 12) Apagar el actuador

A N E X O B

C O P R O T E M

Listado del programa
en BASIC

```

10      ' CONTROL PROGRAMABLE DE TEMPERATURA
20      '
30      ' ..... C O P R O T E M .....
40      KEY OFF
50      DIM FILA%(30), COLU%(30), PTENA%(30)
60      KEY 16, CHR$(4)+CHR$(70)
70      KEY (16) GOSUB 90
80      KEY (16) ON:GOTO 110
90      GOTO 890
100     RETURN
110     GOTO 11170
120     ' Inicialización de variables para LEER TEMPERATURA
130     VALOR.ANALOG% = 0
140     CANALP.IN% = 0      ' Transmisor principal por canal 0
150     CANALX.IN% = 1     ' Transmisor auxiliar por canal 1
160     GANAN.IN% = 1     ' Ganancia = 1
170     OUT.PORT% = 0:VALOR.DIG% = %01:OUT.MASK% = %01'seal para medir TMUES
180     CALL ENABLE.FOR.OUTPUT(OUT.PORT%) ' Define puerto digital 0 para salida
190     MAX.VOLT! = +10! : MIN.VOLT! = -10!
200     RANGO! = MAX.VOLT! - MIN.VOLT!      ' Rango de voltaje para conversión
210     NOC! = 4096
220     LSB! = RANGO! / NOC!                ' Voltaje del bit menos significativo
230     CPV! = NOC! / RANGO!
240     TIMER(3) GOSUB 5440      'Para lectura de temperatura de la olla
250     ' Inicialización de variables para VERIFICAR EQUIPOS
260     IN.PORT% = 1
270     CALL ENABLE.FOR.INPUT(IN.PORT%) 'Define puerto digital 1 para entrada
280     DIGITAL.MASK% = %HFO      'Se habilitan solo 4 bits m e s significativos
290     ' Inicialización de variables para ENVIAR Señal DE ACTUACI
300     CAN.CALI% = 0: CAN.FRIA% = 1 'Calentar:canal 0 y Enfriar: canal 1
310     N% = 2: ACTUA(2) = 0:Z = 0
320     GOSUB 5230      'Enviar señal de actuación
330     ' Inicialización de variables para interrupción de emergencia
340     EMERINT = 0
350     ' Inicialización de PARAMETROS
360     '
370     '     PARAMETROS DEL CONTROLADOR
380     GOSUB 400      'Parámetros del controlador prefijados
390     GOTO 470
400     ' SUBROUTINA Parámetros prefijados del controlador
410     K1 = 25
420     TINT = 50
430     TDER = .5
440     TMUES = .8
450     Z = 1.5
460     RETURN
470     '     PARAMETROS AUXILIARES
480     GOSUB 500      'Parámetros auxiliares prefijados
490     GOTO 600
500     ' SUBROUTINA Parámetros prefijados auxiliares
510     PCAL = 1
520     PENF = 1
530     MIN = 20
540     MAX = 65
550     FACTRANS = 10      ' FACTUR transmisor principal
560     FACTRANX = 0      ' FACTOR transmisor auxiliar
570     TG% = 20:NUMPUN=100
580     TRANX% = "N"      ' No hay transmisor auxiliar
590     RETURN
600     GOTO 670
610     ' Detección de ERROR
620     CLS
630     LOCATE 10,10:PRINT"El sistema ha detectado un error"
640     LOCATE 12,10:PRINT"Por favor iniciar de nuevo la sesión"
650     LOCATE 13,10:PRINT"Para iniciar presione C"
660     BS=INKEY$: IF BS="C" OR BS="c" THEN GOTO 40 ELSE 660
670     CLS
680     TIMER STOP
690     LOCATE 1,68:PRINT"COPROTEM"
700     LOCATE 3,28:PRINT"M E N U"
710     ' Definición de argumentos del MENU PRINCIPAL

```

```

720     MENOPTS(1) = "1. Programa"
730     MENOPTS(2) = "2. Parametros"
740     MENOPTS(3) = "3. Control manual"
750     MENOPTS(4) = "4. Graficos"
760     MENOPTS(5) = "5. Presentacion"
770     MENOPTS(6) = "6. Abandonar COPROTEM"
780     LAST = 6
790     FOR CHOICE = 1 TO LAST
800         ROW%(CHOICE) = 2*CHOICE + 5
810         COL%(CHOICE) = 25
820     NEXT
830     GOSUB 4890 ' Generacion del menú
840     IF PICK = 1 THEN GOSUB 920 :GOTO 670
850     IF PICK = 2 THEN GOSUB 9040:GOTO 670
860     IF PICK = 3 THEN GOSUB 1670:GOTO 670
870     IF PICK = 4 THEN GOSUB 2480:GOTO 670
880     IF PICK = 5 THEN GOSUB 2780:GOTO 670
890     N%=2:ACTUA(2)=0:GOSUB 5230:CLS
900     SYSTEM
910     END
920     ' M O D U L O   1 :   P r o g r a m a
930     '
940     ' Inicio
950     CLS:FOR TIME = 1 TO 1000:NEXT
960     CLS : TIMER OFF :TIMER(3) GOSUB 5440
970     H% = 1
980     TIEMTOT = 0
990     INST*(9) = "F"
1000     ' Generación de pantalla "Programa"
1010     GOSUB 3500 'Pantalla "Programa"
1020     TIMER
1030     I% = 1
1040     IF INST*(I%)="F" OR INST*(I%)="f" OR INST*(I%)="" GOTO 1140
1050     ROW = 8 + I%
1060     LOCATE ROW,30:PRINT I%;
1070     LOCATE ROW,44:PRINT INST*(I%);
1080     IF INST*(I%)="F" OR INST*(I%)="f" OR INST*(I%)="" THEN LOCATE
ROW,44:PRINT"F":GOTO 1220
1090     LOCATE ROW,59:PRINT USING "###.#";TFIN(I%)
1100     LOCATE ROW,73:PRINT USING "###.#";DURA(I%)
1110     TIEMTOT = TIEMTOT + DURA(I%)
1120     I% = I% + 1
1130     GOTO 1050
1140     ROW = 22
1150     COL = 28
1160     GOSUB 4350 'Borrar fila
1170     LOCATE ROW,COL:PRINT"MENSAJE : NO HAY PROGRAMA"
1180     SOUND 40,4
1190     FOR TIME = 1 TO 6000:NEXT
1200     COL = 38
1210     GOSUB 4350 'Borrar fila
1220     ' Generación de submenú PROGRAMAR, EJECUTAR, SALIR
1230     ROW = 22
1240     COL = 28
1250     GOSUB 4350 'Borrar fila
1260     ' Define argumentos del submenú
1270     MENOPTS(1) = "(1) Programar"
1280     MENOPTS(2) = "(2) Ejecutar"
1290     MENOPTS(3) = "(3) Salir"
1300     LAST = 3
1310     FOR CHOICE = 1 TO LAST
1320         ROW%(CHOICE) = 22
1330         COL%(CHOICE) = (CHOICE - 1)*19 + 30
1340     NEXT
1350     GOSUB 4890 'Generación del submenú
1360     IF PICK = 1 THEN GOSUB 5910 :GOTO 920 'Programar
1370     IF PICK = 3:GOTO 1400 ' Salir
1380     IF INST*(1)="" OR INST*(1)="F" OR INST*(1)="f" GOTO 1140
1390     GOSUB 6810 :GOTO 920 ' Ejecutar
1400     TIMER OFF ' Desactiva reloj
1410     RETURN
1420     ' M O D U L O   2 :   P a r   m e   t r o s

```

```

1430 '
1440 '      PARAMETROS CONTROLADOR
1450 GOSUB 8040 ' Pantalla Parametros CONTROLADOR
1460 ' Llenar pantalla
1470 LOCATE 13,37:PRINT K1;" "
1480 LOCATE 15,37:PRINT TINT;" "
1490 LOCATE 17,37:PRINT TDER;" "
1500 '
1510 '
1520 ' Generación del submenú SALIR ALTERAR PREFIJADOS
1530 ' Define argumentos del submenú
1540 MENOPTS(1) = "(1) Salir"
1550 MENOPTS(2) = "(2) Alterar"
1560 MENOPTS(3) = "(3) Prefijados"
1570 LAST = 3
1580 FOR CHOICE = 1 TO LAST
1590   ROW%(CHOICE) = 22
1600   COL%(CHOICE) = (CHOICE - 1)*15 + 22
1610 NEXT
1620 GOSUB 4890 'Generación de submenú
1630 IF PICK = 1 GOTO 1660
1640 IF PICK = 2 THEN GOSUB 8170:GOTO 1460 'Alterar parámetros
1650 GOSUB 4900:GOTO 1460 'Parámetros prefijados
1660 RETURN
1670 ' M O D U L O 3 : C o n t r o l m a n u a l
1680 '
1690 ' Inicio
1700 TIMER OFF:CLS:TIMER(3) GOSUB 5440
1710 TIMER
1720 ' Definir escala de potenas
1730 PTENS(0)="M ":PTENS(1)="9 ":PTENS(2)="8 ":PTENS(3)="7 ":PTENS(4)="6 "
1740 PTENS(5)="5 ":PTENS(6)="4 ":PTENS(7)="3 ":PTENS(8)="2 ":PTENS(9)="1 "
1750 PTENS(10)="0 ":PTENS(11)="1 ":PTENS(12)="2 ":PTENS(13)="3"
1760 PTENS(14)="4 ":PTENS(15)="5 ":PTENS(16)="6 ":PTENS(17)="7"
1770 PTENS(18)="8 ":PTENS(19)="9 ":PTENS(20)="M"
1780 FOR PUNTO% = 0 TO 20
1790   FILA%(PUNTO%) = 8
1800   COLU%(PUNTO%) = 20 + PUNTO%
1810 NEXT
1820 GOSUB 8830 'Pantalla CONTROL MANUAL
1830 ' Generación del submenú Activar Salir
1840 ROW = 22 : COL = 36
1850 GOSUB 4330 'Borrar fila
1860 ' Definir argumentos del submenú
1870 MENOPTS(1)="(1) Activar"
1880 MENOPTS(2)="(2) Salir"
1890 LAST = 2
1900 FOR CHOICE = 1 TO LAST
1910   ROW%(CHOICE) = 22
1920   COL%(CHOICE) = (CHOICE - 1)*15 + 36
1930 NEXT
1940 GOSUB 4890 ' Generación de submenú
1950 IF PICK = 2 GOTO 2370 'Return
1960 ' Activar
1970 ' Se encera el reloj y se abre un archivo para recopilar
1980 ' las medidas de temperatura y tiempo para obtener el gráfico
1990 TIMER OFF:TIME# = "0:0"
2000 OPEN "0",#1,"c:\coprotem\ejex.prn"
2010 TIMER(T%) GOSUB 2390 ' Gráficos durante control manual
2020 TIMER
2030 ROW=22:COL=36
2040 GOSUB 4330 'Borrar fila
2050 ORDEN = 10: ORDENS = ""
2060 'Crear la escala
2070 FOR PUNTO% = 0 TO 20
2080   LOCATE FILA%(PUNTO%),COLU%(PUNTO%)
2090   IF ORDEN<10 GOTO 2130
2100   IF ORDEN>=PUNTO% AND PUNTO%>=10 THEN COLOR 0,7
2110   PRINT PTENS(PUNTO%)
2120   COLOR 7,0:GOTO 2160
2130   IF ORDEN<=PUNTO% AND PUNTO%<=10 THEN COLOR 0,7
2140   PRINT PTENS(PUNTO%)

```

```

2150      COLOR 7,0
2160      IF ORDEN<>PUNTO% GOTO 2200
2170      NX=2:ACTUA(2)=(ORDEN-10)
2180      GOSUB 5630      'Verificar equipos
2190      GOSUB 5230      'Enviar señal de actuación
2200  NEXT
2210  '
2220  ORDENS=INKEY% :IF ORDENS="" GOTO 2230
2230  ASI = ASC(ORDENS)
2240  IF ASI=27 GOTO 2300      'Terminar ejecun
2250  IF LEN(ORDENS)=1 GOTO 2230      'Verificar tecla de cursor
2260  ORDENS=RIGHT$(ORDENS,1):ASI=ASC(ORDENS)      'Extraer caracter del cursor
2270  IF ASI=75 THEN SOUND 200,1:ORDEN=ORDEN-1:IF ORDEN<0 THEN ORDEN=0
2280  IF ASI=77 THEN SOUND 800,1:ORDEN=ORDEN+1:IF ORDEN>=20 THEN ORDEN=20
2290  GOTO 2300
2300  ' Terminar
2310  NX=2:ACTUA(2)=0:CLOSE:TIMER OFF
2320  TIMER(3) GOSUB 5440
2330  TIMER
2340  GOSUB 5230      'Enviar seal de actuación
2350  GOSUB 6830      'Pantalla "Control manual"
2360  BEEP: GOTO 1940
2370  TIMER OFF
2380  RETURN
2390  ' SUBROUTINA Graficos durante Control manual
2400  GOSUB 5630      ' Verificar equipos
2410  GOSUB 5440      ' Leer temperatura
2420  EJEX=TMED
2430  HORAS=VAL(MID$(TIME$,1,2)):MINUTOS=VAL(MID$(TIME$,4,2))
2440  SEGUNDOS=VAL(MID$(TIME$,7,2))
2450  EJEX=(HORAS*3600+MINUTOS*60+SEGUNDOS)/60
2460  GOSUB 9010      ' Muestreo de temperatura para graficos
2470  RETURN
2480  ' M O D U L O 4 : G r f i c o s
2490  '
2500  CLS:PRINT "G R A F I C O S"
2510  FOR TIME = 1 TO 2000:NEXT
2520  ' Pantalla de GRAFICOS
2530  CLS:LOCATE 1,68:PRINT"COPROTEM"
2540  LOCATE 10,32:PRINT"GRAFICOS"
2550  ' Define argumentos de menú
2560  MENUPT$(1) = "1. Gráfico"
2570  MENUPT$(2) = "2. Salir"
2580  LAST = 2
2590  FOR CHOICE = 1 TO LAST
2600  ROW%(CHOICE) = 2*CHOICE + 11
2610  COL%(CHOICE) = 32
2620  NEXT
2630  GOSUB 4890
2640  IF PICK = 2 GOTO 2770
2650  CLS
2660  LOCATE 10,20
2670  SOUND 1920,2:PRINT"ENENDA LA IMPRESORA Y COLOQUE PAPEL"
2680  LOCATE 22,28
2690  PRINT "Si esta LISTO !.... presione C para continuar "
2700  RESP% = INKEY%:IF RESP% = "" GOTO 2700
2710  IF RESP%="C" OR RESP%="c" GOTO 2720 ELSE 2480
2720  CLS:LOCATE 3,28:PRINT"POR FAVOR ESPERE"
2730  ' Sale del BASIC y entra al QUATTRO para obtener graficos
2740  SHELL "C:\QUATTRO\Q"
2750  ' Regresa a BASIC
2760  GOTO 2480
2770  RETURN
2780  ' M O D U L O 5 : P r e s e n t a c i o n
2790  CLS:PRINT"P R E S E N T A C I O N"
2800  FOR TIME = 1 TO 1000:NEXT
2810  '
2820  CLS:LOCATE 1,68: PRINT "COPROTEM"
2830  PRINT ".":PRINT".":PRINT"."
2840  PRINT "COPROTEM es un programa de computan desarrollado en"
2850  PRINT "BASIC, y es parte del Simulador de temperatura en"
2860  PRINT "liquidos, del Laboratorio de Instrumentan de la"

```

```

2870 PRINT "Facultad de Ingeniera Elctrica de la Escuela"
2880 PRINT "Politecnica Nacional."
2890 PRINT "."
2900 PRINT "."
2910 PRINT "COPROTEM utiliza la tarjeta DATA TRANSLATION DT2805,"
2920 PRINT "la cual se halla instalada en una de las ranuras de"
2930 PRINT "expansin de sistema de este computador."
2940 PRINT "."
2950 PRINT "."
2960 PRINT "Todas las conexiones, se las realiza a travs del"
2970 PRINT "conector DT707, exterior al computador, mediante"
2980 PRINT "terminales de tornillo."
2990 PRINT "."
3000 PRINT "."
3010 PRINT "."
3020 COLOR 0,7:PRINT "... Presione cualquier tecla para continuar"
3030 COLOR 7,0
3040 AS=INKEY$:IF AS="" GOTO 3040
3050 CLS
3060 LOCATE 1,68:PRINT "COPROTEM"
3070 PRINT "."
3080 PRINT "."
3090 COLOR 7,0
3100 PRINT " INTERCONEXION DEL SIMULADOR DE TEMPERATURA EN LIQUIDOS"
3110 COLOR 7,0:PRINT
3120 PRINT
3130 PRINT "          ACTUADOR : Seales de control"
3140 PRINT
3150 PRINT " Calentamiento ..... D/A 0 OUT (verde)"
3160 PRINT " Enfriamiento ..... D/A 1 OUT (rojo)"
3170 PRINT
3180 PRINT "          TRANSMISORES : Prinpel y Auxiliar"
3190 PRINT
3200 PRINT "          Prinpel ..... CH0 (negro)"
3210 PRINT "          Auxiliar ..... CH1 (morado)"
3220 PRINT
3230 PRINT "          CONTROL REMOTO : Actuador y Transmisor"
3240 PRINT
3250 PRINT "          Actuador ..... PORT 1 BIT 5 (caf)"
3260 PRINT "          Transmisor ..... PORT 1 BIT 4 (blanco)"
3270 PRINT "."
3280 PRINT "."
3290 COLOR 0,7
3300 PRINT "... Presione cualquier tecla para terminar"
3310 COLOR 7,0
3320 AS=INKEY$:IF AS="" GOTO 3320
3330 CLS
3340 LOCATE 1,68:PRINT "COPROTEM"
3350 PRINT "."
3360 PRINT "."
3370 PRINT " Mayor informan sobre COPROTEM"
3380 PRINT " se encuentra en el manual de uso,"
3390 PRINT " y en la TESIS DE GRADO: Prototipo para medin"
3400 PRINT " y control de temperatura de liquidos"
3410 PRINT " en forma digital"
3420 PRINT "."
3430 PRINT " Autor: Jos X. Granizo M."
3440 PRINT " Fecha: Abril 1990"
3450 PRINT "."
3460 PRINT "."
3470 FOR TIME = 1 TO 17000:NEXT
3480 RETURN
3490
3500
3510
3520
3530
3540
3550
3560
3570
3580
3590
3600
3610
3620
3630
3640
3650
3660
3670
3680
3690
3700
3710
3720
3730
3740
3750
3760
3770
3780
3790
3800
3810
3820
3830
3840
3850
3860
3870
3880
3890
3900
3910
3920
3930
3940
3950
3960
3970
3980
3990
4000
4010
4020
4030
4040
4050
4060
4070
4080
4090
4100
4110
4120
4130
4140
4150
4160
4170
4180
4190
4200
4210
4220
4230
4240
4250
4260
4270
4280
4290
4300
4310
4320
4330
4340
4350
4360
4370
4380
4390
4400
4410
4420
4430
4440
4450
4460
4470
4480
4490
4500
4510
4520
4530
4540
4550
4560
4570
4580
4590
4600
4610
4620
4630
4640
4650
4660
4670
4680
4690
4700
4710
4720
4730
4740
4750
4760
4770
4780
4790
4800
4810
4820
4830
4840
4850
4860
4870
4880
4890
4900
4910
4920
4930
4940
4950
4960
4970
4980
4990
5000
5010
5020
5030
5040
5050
5060
5070
5080
5090
5100
5110
5120
5130
5140
5150
5160
5170
5180
5190
5200
5210
5220
5230
5240
5250
5260
5270
5280
5290
5300
5310
5320
5330
5340
5350
5360
5370
5380
5390
5400
5410
5420
5430
5440
5450
5460
5470
5480
5490
5500
5510
5520
5530
5540
5550
5560
5570
5580
5590
5600
5610
5620
5630
5640
5650
5660
5670
5680
5690
5700
5710
5720
5730
5740
5750
5760
5770
5780
5790
5800
5810
5820
5830
5840
5850
5860
5870
5880
5890
5900
5910
5920
5930
5940
5950
5960
5970
5980
5990
6000
6010
6020
6030
6040
6050
6060
6070
6080
6090
6100
6110
6120
6130
6140
6150
6160
6170
6180
6190
6200
6210
6220
6230
6240
6250
6260
6270
6280
6290
6300
6310
6320
6330
6340
6350
6360
6370
6380
6390
6400
6410
6420
6430
6440
6450
6460
6470
6480
6490
6500
6510
6520
6530
6540
6550
6560
6570
6580
6590
6600
6610
6620
6630
6640
6650
6660
6670
6680
6690
6700
6710
6720
6730
6740
6750
6760
6770
6780
6790
6800
6810
6820
6830
6840
6850
6860
6870
6880
6890
6900
6910
6920
6930
6940
6950
6960
6970
6980
6990
7000
7010
7020
7030
7040
7050
7060
7070
7080
7090
7100
7110
7120
7130
7140
7150
7160
7170
7180
7190
7200
7210
7220
7230
7240
7250
7260
7270
7280
7290
7300
7310
7320
7330
7340
7350
7360
7370
7380
7390
7400
7410
7420
7430
7440
7450
7460
7470
7480
7490
7500
7510
7520
7530
7540
7550
7560
7570
7580
7590
7600
7610
7620
7630
7640
7650
7660
7670
7680
7690
7700
7710
7720
7730
7740
7750
7760
7770
7780
7790
7800
7810
7820
7830
7840
7850
7860
7870
7880
7890
7900
7910
7920
7930
7940
7950
7960
7970
7980
7990
8000
8010
8020
8030
8040
8050
8060
8070
8080
8090
8100
8110
8120
8130
8140
8150
8160
8170
8180
8190
8200
8210
8220
8230
8240
8250
8260
8270
8280
8290
8300
8310
8320
8330
8340
8350
8360
8370
8380
8390
8400
8410
8420
8430
8440
8450
8460
8470
8480
8490
8500
8510
8520
8530
8540
8550
8560
8570
8580
8590
8600
8610
8620
8630
8640
8650
8660
8670
8680
8690
8700
8710
8720
8730
8740
8750
8760
8770
8780
8790
8800
8810
8820
8830
8840
8850
8860
8870
8880
8890
8900
8910
8920
8930
8940
8950
8960
8970
8980
8990
9000
9010
9020
9030
9040
9050
9060
9070
9080
9090
9100
9110
9120
9130
9140
9150
9160
9170
9180
9190
9200
9210
9220
9230
9240
9250
9260
9270
9280
9290
9300
9310
9320
9330
9340
9350
9360
9370
9380
9390
9400
9410
9420
9430
9440
9450
9460
9470
9480
9490
9500
9510
9520
9530
9540
9550
9560
9570
9580
9590
9600
9610
9620
9630
9640
9650
9660
9670
9680
9690
9700
9710
9720
9730
9740
9750
9760
9770
9780
9790
9800
9810
9820
9830
9840
9850
9860
9870
9880
9890
9900
9910
9920
9930
9940
9950
9960
9970
9980
9990

```

```

3590 LOCATE 19,61:COLOR 7,0:PRINT "Finalizar"
3600 LOCATE 5,3:PRINT "Pendientes máximas"
3610 PRINT TAB(3)"-----"
3620 LOCATE 7,1:PRINT "CALENTAMIENTO : "PCAL;CHR*(248); "C/min"
3630 LOCATE 8,1:PRINT "ENFRIAMIENTO : "PENF;CHR*(248); "C/min"
3640 LOCATE 10,3:PRINT "Límites de temperatura"
3650 PRINT TAB(3)"-----"
3660 PRINT TAB(5) "MAXIMO = "MAX;CHR*(248); "C"
3670 PRINT TAB(5) "MINIMO = "MIN;CHR*(248); "C"
3680 V = 16
3690 H = 1
3700 LENGTH = 23
3710 HIGH = 2
3720 GOSUB 3960 ' Recuadro
3730 LOCATE 17,3:PRINT "TEMPERATURA = ";CHR*(248); "C"
3740 V = 21
3750 H = 1
3760 LENGTH = 23
3770 HIGH = 2
3780 GOSUB 3960 ' Recuadro
3790 LOCATE 22,3:PRINT "T. AUXILIAR = ";CHR*(248); "C"
3800 LOCATE 6,28:PRINT "TRAMO"
3810 LOCATE 6,39:PRINT "INSTRUCCION"
3820 LOCATE 6,56:PRINT "TEMPERATURA"
3830 LOCATE 6,73:PRINT "TIEMPO"
3840 LOCATE 7,59:PRINT "(";CHR*(248); "C)"
3850 LOCATE 7,73:PRINT "(min)"
3860 V = 5
3870 H = 26
3880 LENGTH = 53
3890 HIGH = 13
3900 GOSUB 3960 ' Recuadro
3910 LOCATE 21,27:PRINT"-----"
3920 LOCATE 22,28:PRINT "MENSAJE : "
3930 LOCATE 23,27:PRINT"-----"
3940 TIMER ON
3950 RETURN
3960 ' SUBROUTINA Recuadro
3970 LOCATE V,H
3980 PRINT CHR*(218)
3990 LOCATE V+HIGH,H
4000 PRINT CHR*(192)
4010 LOCATE V,H+LENGTH
4020 PRINT CHR*(191)
4030 LOCATE V+HIGH,H+LENGTH
4040 PRINT CHR*(217)
4050 ROW = V
4060 COL = H + 1
4070 LENGTH = LENGTH - 1
4080 CHAR = 196
4090 GOSUB 4210
4100 ROW = V + HIGH
4110 GOSUB 4210 ' Marcar linea
4120 ROW = V + 1
4130 COL = H
4140 HIGH = HIGH - 2
4150 CHAR = 179
4160 GOSUB 4270 ' Marcar barra
4170 COL = H + LENGTH + 1
4180 GOSUB 4270
4190 RETURN
4200 '
4210 ' SUBROUTINA Marcar linea
4220 CHAR* = CHR*(CHAR)
4230 LOCATE ROW,COL
4240 PRINT STRING*(LENGTH,CHAR*);
4250 RETURN
4260 '
4270 ' SUBROUTINA Marcar barra
4280 CHAR* = CHR*(CHAR)
4290 LOCATE ROW,COL
4300 FOR R=ROW TO ROW+HIGH

```

```

4310     LOCATE R,COL
4320     PRINT CHAR*;
4330 NEXT
4340 RETURN
4350 *
4360 * SUBROUTINA Borrar fila
4370 LOCATE ROW,COL
4380 PRINT SPACE*(79-COL)
4390 LOCATE ROW,COL
4400 RETURN
4410 *
4420 * SUBROUTINA Ingreso de datos
4430 ENTRY* = ""
4440 LENGTH = LEN(ENTRY*)
4450 GOSUB 4600 'Imprimir señal de longitud
4460 LOCATE ROW,COL
4470 PRINT ENTRY*;
4480 COLOR 17,0
4490 PRINT CHR*(234);
4500 COLOR 7,0
4510 CHAR* = INKEY*;IF CHAR* = "" GOTO 4510
4520 * Verificar tecla ENTER
4530 IF CHAR* = CHR*(13) GOTO 4540 ELSE 4590
4540 IF LENGTH >= SHORT GOTO 4550 ELSE SOUND 4000,1: GOTO 4510
4550 *
4560 GOSUB 4600 'Imprimir señal de longitud
4570 PRINT ENTRY*+" ";
4580 GOTO 4740 'Sale de la subrutina
4590 * Verificar tecla Esc
4600 IF ASC(CHAR*) = 27 THEN ENTRY* = "";HK=7:GOTO 4740 ELSE 4610
4610 * Verificar tecla de retroceso
4620 IF ASC(CHAR*) = 8 GOTO 4630 ELSE 4670
4630 IF LENGTH >= 1 GOTO 4640 ELSE SOUND 4000,1: GOTO 4510
4640 LENGTH = LENGTH - 1
4650 ENTRY* = LEFT*(ENTRY*,LENGTH)
4660 GOTO 4450
4670 * Verificar máxima longitud
4680 IF LENGTH = LONG GOTO 4510
4690 * Filtro de caracteres no permitidos
4700 IF CHAR*="N" OR CHAR*="n" OR CHAR*="S" OR CHAR*="s" OR ASC(CHAR*)=46 OR
CHAR*="--" OR ASC(CHAR*) >= 48 AND ASC(CHAR*) <=57 GOTO 4710 ELSE SOUND
4000,1:GOTO 4510
4710 ENTRY* = ENTRY* + CHAR*
4720 LENGTH = LEN(ENTRY*)
4730 GOTO 4460
4740 RETURN
4750 *
4760 *
4770 *
4780 *
4790 *
4800 * Borrar campo, Imprimir señal de longitud
4810 COLOR 7,0
4820 *
4830 LOCATE ROW,COL
4840 PRINT SPACE*(LONG)
4850 LOCATE ROW,COL
4860 PRINT STRING*(LONG,"_")+ " "
4870 LOCATE ROW,COL
4880 RETURN
4890 * SUBROUTINA Generación de menú
4900 PICK = 1:PICK* = ""
4910 * crear menú
4920 FOR CHOICE = 1 TO LAST
4930 LOCATE ROW*(CHOICE),COL*(CHOICE)
4940 IF PICK = CHOICE THEN COLOR 0,7 'Resaltar texto
4950 PRINT MENU*(CHOICE)
4960 COLOR 7,0
4970 NEXT
4980 *
4990 *
5000 PICK* = INKEY*;IF PICK* = "" GOTO 5000

```

```

5010 ASI = ASC(PICK*)
5020 IF ASI = 13 GOTO 5120 'Tecla ENTER presionada
5030 IF LEN(PICK*)=1 THEN 5090 ELSE 5040 'Verificar teclas de cursor
5040 PICK* = RIGHT$(PICK*,1) 'extraer caracter del cursor
5050 ASI = ASC(PICK*) 'codigo ASI extendido
5060 IF ASI = 72 OR ASI=73 THEN PICK = PICK-1:IF PICK=0 THEN PICK=LAST
5070 IF ASI = 80 OR ASI=77 THEN PICK=PICK+1:IF PICK>LAST THEN PICK=1
5080 GOTO 4910
5090 PICK = VAL(PICK*)
5100 IF PICK=1 AND PICK<=LAST GOTO 5110 ELSE 5000
5110 GOTO 4910
5120 RETURN
5130 ' ACCION "P"
5140 CONTR(N%) = K1 * (ERABS(N%) - ERABS(N1%))
5150 ACTUA(N%) = ACTUA(N1%) + CONTR(N%)
5160 GOSUB 5230 'Enviar señal de actuación
5170 RETURN
5180 ' ACCION "PID"
5190 CONTR(N%) = A*ERABS(N%) - B*ERABS(N1%) + C*ERABS(N2%)
5200 ACTUA(N%) = ACTUA(N1%) +CONTR(N%)
5210 GOSUB 5230 'Enviar señal de actuación
5220 RETURN
5230 ' SUBROUTINA Enviar seal de actuan
5240 IF ACTUA(N%)>=9.8999999 THEN SALIR(N%)=9.8999999:GOTO 5360
5250 IF ACTUA(N%)<=-9.8999999 THEN SALIR(N%)=-9.8999999:GOTO 5290
5260 IF ACTUA(N%)>=.1 AND ACTUA(N%)<=9.8999999 THEN SALIR(N%)=ACTUA(N%):GOTO
5270
5270 IF ACTUA(N%) <=.1 AND ACTUA(N%) >= -.1 THEN SALIR(N%)=.8:GOTO 5360
5280 IF ACTUA(N%)<=-.1 AND ACTUA(N%)>=-9.8999999 THEN SALIR(N%)=ACTUA(N%)
5290 ENFRIAR = -1*SALIR(N%)
5300 CALENTAR = 0
5310 SAL.CALI% = (CALENTAR - MIN.VOLT!) * CPV!
5320 SAL.FRIAX% = (ENFRIAR - MIN.VOLT!) * CPV!
5330 CALL DAC.VALUE(CAN.CALI%, SAL.CALI%) 'Activa poder
5340 CALL DAC.VALUE(CAN.FRIAX%, SAL.FRIAX%) 'Activa poder
5350 GOTO 5420
5360 CALENTAR = 1*SALIR(N%)
5370 ENFRIAR = 0
5380 SAL.CALI% = (CALENTAR - MIN.VOLT!) * CPV!
5390 SAL.FRIAX% = (ENFRIAR - MIN.VOLT!) * CPV!
5400 CALL DAC.VALUE(CAN.FRIAX%, SAL.FRIAX%) 'Activa poder
5410 CALL DAC.VALUE(CAN.CALI%, SAL.CALI%) 'Activa poder
5420 N% = N% + 1:IF N% = 3 THEN N% = 0
5430 ACTGRA=SALIR(N%)/10: RETURN
5440 ' SUBROUTINA Leer temperatura
5450 CALL ADC.VALUE(CANALF.IN%,BANAN.IN%,VALORP.ANALOG%) 'Prinpal
5460 CALL ADC.VALUE(CANALX.IN%,BANAN.IN%,VALORX.ANALOG%) 'Auxiliar
5470 CALL OUTPUT.DIGITAL.VALUE(OUT.PORT%, OUT.MASK%, VALOR.DIG%)
5480 VALOR.DIG% = VALOR.DIG% + 401
5490 VOLTAFX! = (VALORP.ANALOG% * LSB!) + MIN.VOLT!
5500 VOLTAFX! = (VALORX.ANALOG% * LSB!) + MIN.VOLT!
5510 TMED = VOLTAFX! * FACTRANS
5520 TMEDX = VOLTAFX! * FACTRANX
5530 LOCATE 17,16
5540 COLOR 15,0
5550 PRINT USING"####.#";TMED
5560 COLOR 7,0
5570 IF TRANX*="N" OR TRANX*="n" THEN TMEDX = 0
5580 LOCATE 22,16
5590 COLOR 15,0
5600 PRINT USING"*****.*";TMEDX
5610 COLOR 7,0
5620 RETURN
5630 ' SUBROUTINA Verificar equipos
5640 CALL INPUT.DIGITAL.VALUE(IN.PORT%, DIGITAL.MASK%, D.VALUE%)
5650 TEMPO% = D.VALUE%
5660 FOR B% = 1 TO 8
5670 BINARIO%(B%) = TEMPO% MOD 2
5680 TEMPO% = TEMPO% \ 2
5690 NEXT B%
5700 ROW = 19:COL = 17: GOSUB 4350 'Borrar fila
5710 LISTO% = 1

```

```

5720     FOR B% = 5 TO 9 :COLOR 7,0
5730     IF BINARIO%(B%)=1 GOTO 5860 ELSE SOUND 2000,7:DETENS=TIME*:LOCATE
19,23:COLOR 15,0:PRINT"FALLA EN ":COLOR 7,0
5740     LISTO% = 0: ON B%-4 GOTO 5750,5760,5770,5780
5750     LOCATE 19,33:PRINT"Transmisor" : GOTO 5790
5760     LOCATE 19,43:PRINT"Actuador" : GOTO 5790
5770     LOCATE 19,53:PRINT"Equipo 3" : GOTO 5790
5780     LOCATE 19,63:PRINT"Equipo 4":
5790     ACTUA(N%)=0:GOSUB 5230 'Encerar salida analogica
5800     SOUND 200,4
5810     LOCATE 23,30: COLOR 9,0
5820     PRINT "Reponer fallas y presionar C para continuar": COLOR 7,0
5830     B%=INKEY$: IF B%="C" OR B%="c" THEN TIME%=DETENS:GOTO 5840 ELSE 5830
5840     EREL(N1%)=0:EREL(N2%)=0
5850     GOSUB 5440 ' Leer temperatura
5860     NEXT B%
5870     ROW = 19: COL = 10 : GOSUB 4350 'Borrar fila
5880     ROW = 23: COL = 30 : GOSUB 4350 'Borrar fila
5890     LOCATE 19,45:COLOR 23,0:PRINT"E J E C U T A N D O":COLOR 7,0
5900     RETURN
' SUBROUTINA Programar
5920     CLS:GOSUB 3500 'Pantalla "Programa"
5930     GOSUB 5440 ' Leer temperatura
5940     TFIN(0) = TIME
5950     I% = 1
5960     H% = 0
5970     IF I% > 8 GOTO 6090
5980     ROW = 8 + I%
5990     COL = 28
6000     GOSUB 4350 'Borrar fila
6010     LOCATE ROW,30,,0,7 :PRINT I% ;
' Ingreso de INSTRUCCION
6020     COL = 44
6030     GOSUB 4350 ' Borrar fila
6040     LOCATE ROW,44,,0,7
6050     COLOR 17,0
6060     PRINT CHR$(254);
6070     COLOR 7,0
6080     INST*(I%) = INKEY$ :IF INST*(I%) = "" GOTO 6090
6100     IF ASC(INST*(I%))=27 AND I%<>1 THEN I%=I%-1:LOCATE ROW,44:PRINT" ":GOTO
5970
6110     IF INST*(I%) = "A" OR INST*(I%) = "a" GOTO 6240
6120     IF INST*(I%) = "E" OR INST*(I%) = "e" GOTO 6240
6130     IF INST*(I%) = "F" OR INST*(I%) = "f" OR ASC(INST*(I%))=27 GOTO 6230
6140     ROW = 22
6150     COL = 28
6160     GOSUB 4350 ' Borrar fila
6170     LOCATE ROW,COL :PRINT "MENSAJE : SOLO SE PERMITEN : 'A', 'E' o 'F'";
6180     SOUND 4000,1
6190     FOR TIME = 1 TO 6000 : NEXT
6200     COL = 38
6210     GOSUB 4350 ' Borrar fila
6220     GOTO 5980
6230     INST*(I%)="F": LOCATE ROW,44:PRINT "F":GOTO 6670
6240     LOCATE ROW,44 :PRINT INST*(I%)
' Ingreso de Temperatura
6250     COL = 39
6260     ROW = 8 + I%
6270     PROMPT$ = ""
6280     SHORT = 1
6290     LONG = 5
6300     GOSUB 4410 ' Ingreso de datos
6320     IF H% = 7 GOTO 5960 ELSE 6330
6330     TFIN(I%) = VAL(ENTRY$)
6340     IF TFIN(I%) >= MIN AND TFIN(I%) <= MAX GOTO 6440 ELSE 6350
6350     ROW = 22
6360     COL = 28
6370     GOSUB 4350 'Borrar fila
6380     LOCATE ROW,COL:PRINT"MENSAJE : VALOR DEBE ESTAR ENTRE" MIN "Y";
6390     PRINT MAX: SOUND 4000,1
6400     FOR TIME = 1 TO 6000 :NEXT
6410     COL = 38

```

```

6420 GOSUB 4330 'Borrar fila
6430 GOTO 6230
6440 ' Ingreso del tiempo
6450 COL = 73
6460 ROW = 8 + IX
6470 PROMPT$ = ""
6480 SHORT = 1
6490 LONG = 3
6500 GOSUB 3440 'Leer temperatura
6510 GOSUB 4410 'Ingreso de datos
6520 IF H% = 7 GOTO 3960 ELSE 6530
6530 DURA(IX) = VAL(ENTRY*)
6540 IF DURA(IX) <= 0 GOTO 6570 ELSE 6550
6550 PEND = (TFIN(IX) - TFIN(IX-1)) / DURA(IX)
6560 IF PEND <= PCAL AND PEND >= -PENF GOTO 6630 ELSE 6570
6570 ROW = 22
6580 COL = 28
6590 GOSUB 4330 'Borrar fila
6600 LOCATE ROW,COL:PRINT"MENSAJE : PENDIENTE ILEGAL":SOUND 4000,1
6610 FOR TIME = 1 TO 6000:NEXT
6620 COL = 38
6630 GOSUB 4330 'Borrar fila
6640 GOTO 6450
6650 IX = IX + 1
6660 GOTO 3960
6670 GOSUB 3440 'Leer temperatura
6680 IF INST*(1)="F" OR INST*(1)="I" OR INST*(1)=" " GOTO 6800
6690 PEND = (TFIN(1) - TMED) / DURA(1)
6700 IF PEND <= PCAL AND PEND >= -PENF GOTO 6800 ELSE 6710
6710 ROW = 22: COL = 28
6720 GOSUB 4330 'Borrar fila
6730 LOCATE ROW,COL
6740 COLOR 0,7
6750 PRINT "MENSAJE : PENDIENTE ILEGAL EN EL TRAMO # 1":SOUND 2000,2
6760 FOR TIME = 1 TO 8000:NEXT
6770 COLOR 7,0
6780 GOSUB 4330 'Borrar fila
6790 GOTO 3910
6800 RETURN
6810 ' SUBROUTINA Ejecutar
6820 CLS:TIEMPO%=0
6830 TG% = TIEMTOT*60/NUMPUN
6840 OPEN "0", #1, "C:\COPROTEMNEJES.PRN"
6850 TIMER OFF
6860 ON TIMER(TG%) GOSUB 9010 'Muestreo de temp. para graficos
6870 ' Pantalla durante ejecucion
6880 CLS
6890 LOCATE 1,68:PRINT"COPROTEM"
6900 LOCATE 3,44:PRINT"PROGRAMA"
6910 LOCATE 6,28:PRINT"TRAMO";
6920 LOCATE 6,39:PRINT"INSTRUCCION";
6930 LOCATE 6,56:PRINT"TEMPERATURA";
6940 LOCATE 6,73:PRINT"TIEMPO";
6950 LOCATE 7,59:PRINT("";CHR*(248));"C";
6960 LOCATE 7,73:PRINT"(min)"
6970 V = 3: H = 26: LENGTH = 53: HIGH = 13
6980 GOSUB 3960 ' Dibujar recuadro
6990 LOCATE 17,3:PRINT"TEMPERATURA = ";CHR*(248);"C"
7000 V=16:H=1:LENGTH=23:HIGH=2
7010 GOSUB 3960 ' Dibujar recuadro
7020 LOCATE 22,3:PRINT"T. AUXILIAR = ";CHR*(248);"C"
7030 V = 21: H = 1: LENGTH = 23: HIGH = 2
7040 GOSUB 3960 ' Dibujar recuadro
7050 LOCATE 3,1:PRINT "CALENTAR"
7060 LOCATE 3,1:PRINT "ENFRIAR"
7070 LOCATE 8,1:PRINT "T. Ref."
7080 LOCATE 22,38:COLOR 0,7:PRINT "Alt+F10"
7090 COLOR 7,0:LOCATE 22,49:PRINT "Interrupci de emergencia"
7100 GOSUB 3440 'Leer temperatura
7110 GOSUB 3630 'Verificar perifericos
7120 IF LISTUX=0 GOTO 7110
7130 IX = 0:TIEMPO% = -1:CRONO(0) = 0

```

```

7140 ' C iculo de las constantes A, B y C del controlador
7150 ' segun las ecuaciones [2.7], [2.8] y [2.9]
7160 ' de la monografía
7170 A = K1 * (1+TMUES/(2*TINT))+TDER/TMUES)
7180 B = K1 * (1-TMUES/(2*TINT)+2*TDER/TMUES)
7190 C = K1 * TDER/TMUES
7200 ' Generador de tramos
7210 IX=IX+1;NX=2;ERABS(0)=0;ERABS(1)=0;ACTUA(1)=0
7220 R# = INKEY#; IF R# = "" GOTO 7270
7230 IF LEN(R#) = 1 GOTO 7270
7240 R# = RIGHT$(R#,1); ASI = ASC(R#)
7250 IF ASI = 113 THEN GOSUB 11090 'ALT-F10
7260 IF EMERINT = 100 GOTO 8010 'Finalizar de emergencia
7270 TRAMO% = 0
7280 TRAMO% = TRAMO% + 1
7290 LOCATE TRAMO% + 8,30
7300 IF TRAMO%=IX THEN COLOR 0,7 'Resaltar texto
7310 PRINT TRAMO%;STRING$(14," ");LOCATE TRAMO%+8,44;PRINT
INST$(TRAMO%);STRING$(16," ")
7320 IF INST$(TRAMO%)="F" OR INST$(TRAMO%)="f" OR INST$(TRAMO%)="" GOTO 7370
7330 LOCATE TRAMO%+8,59;PRINT TFIN(TRAMO%);STRING$(16," ")
7340 LOCATE TRAMO%+8,74;PRINT DURA(TRAMO%);
7350 COLOR 7,0
7360 GOTO 7280
7370 LOCATE 19,45; COLOR 23,0
7380 PRINT "E J E C U T A N D O"; COLOR 7,0
7390 TIEMPO = TIEMPO+CRONO(IX-1)
7400 IF INST$(IX)="F" OR INST$(IX)="f" GOTO 8010
7410 IF INST$(IX)="A" OR INST$(IX)="a" GOTO 7420 ELSE 7820
7420 ' A l c a n z a r
7430 GOSUB 5440 'Leer temperatura
7440 TIMER ON
7450 TREF = TMED
7460 TREF =NT(TREF); TFIN(IX)=NT(TFIN(IX)) 'redondear a enteros
7470 IF TREF < TFIN(IX) THEN M=1;GOTO 7490
7480 IF TREF = TFIN(IX) THEN M=0;CONST=60*DURA(IX);GOTO 7500 ELSE M=-1
7490 CONST = 60 * DURA(IX) / ABS(TFIN(IX) - TMED)
7500 LIMIT = CONST
7510 TIME# = "0:0" 'Tiempo = 0
7520 TREF = TREF + M
7530 GOSUB 5440 'Leer temperatura
7540 HORAS = VAL(MID$(TIME#,1,2))
7550 MINUTOS = VAL(MID$(TIME#,4,2))
7560 SEGUNDOS = VAL(MID$(TIME#,7,2))
7570 CRONO(IX)=HORAS*3600+MINUTOS*60+SEGUNDOS
7580 EJEX=(TIEMPO+CRONO(IX)) / 60
7590 EJEX=TMED
7600 LOCATE 3,11: PRINT USING "###.#";CALENTAR
7610 LOCATE 5,11: PRINT USING "###.#";ENFRIAR
7620 LOCATE 8,11: PRINT USING "###.#";TREF
7630 IF CRONO(IX) >= LIMIT THEN TREF=TREF+M;LIMIT=LIMIT+CONST
7640 IF TREF = TFIN(IX)+M GOTO 7200
7650
7660 LOCATE 1,1;PRINT TIME#
7670 GOSUB 5630 'Verificar equipos
7680 IF LIB(IX)=0 GOTO 7670
7690 ERABS(NX) = (TREF - TMED)
7700 ERCL(NX) = ERABS(NX)/TREF
7710 R# = INKEY#; IF R# = "" GOTO 7760
7720 IF LEN(R#) = 1 GOTO 7270
7730 R# = RIGHT$(R#,1); ASI = ASC(R#)
7740 IF ASI = 113 THEN GOSUB 11090 'ALT-F10
7750 IF EMERINT = 100 GOTO 8010 'Finalizar de emergencia
7760 IF NX=2 THEN N1X=1;NX=0;GOTO 7790
7770 IF NX=1 THEN N1X=0;NX=2;GOTO 7790
7780 N1X=2;NX=1
7790 IF M=0 AND ABS(TREF-TMED)>1 THEN Z=1;GOSUB 5130;GOTO 7850
7800 IF Z=1 THEN ERABS(N1X)=0;ERABS(NX)=0;ACTUA(N1X)=0;Z=0
7810 IF M = 0 THEN ;GOSUB 5180;GOTO 7830 ELSE GOSUB 5130;GOTO 7830
7820 ' E s t a b l i d a r
7830 TIME# = "0:0" ;TIMER ON
7840 M = 0 ; TREF=TFIN(IX)

```

```

7850      GOSUB 5440          'Leer temperatura
7860      HORAS = VAL(MID$(TIME$,1,2))
7870      MINUTOS = VAL(MID$(TIME$,4,2))
7880      SEGUNDOS = VAL(MID$(TIME$,7,2))
7890      CRONO(I%)=HORAS*3600+MINUTOS*60+SEGUNDOS
7900      EJEJ=(TIEMPO+CRONO(I%)) / 60
7910      EJEJ=TMED
7920      LOCATE 3,11:PRINT USING "###.#";CALENTAR
7930      LOCATE 5,11:PRINT USING "###.#";ENFRIAR
7940      LOCATE 8,11:PRINT USING "###.#";TREF
7950      LOCATE 1,1:PRINT TIME$
7960      IF CRONO(I%) >= DURA(I%)*60 GOTO 7970 ELSE 7650
7970      IF TMED > TREF+ZON OR TMED < TREF-ZON GOTO 7990 ELSE 7200
7980      '
7990      LOCATE 19,23:PRINT "Tiempo insuficiente para estabilizar"
8000      FOR TIME = 1 TO 8000:NEXT:BEEP
8010      ACTUA(N%) = 0:GOSUB 5230          'Enviar seal de actuación
8020      TIMER OFF:CLOSE: SOUND 151,10
8030      RETURN
8040      ' SUBROUTINA: Pantalla "Parámetros Controlador"
8050      CLS:FOR TIME = 1 TO 500:NEXT:CLS
8060      LOCATE 1,68:PRINT"COPROTEM"
8070      LOCATE 3,31:PRINT"PARÁMETROS"
8080      LOCATE 7,35:PRINT CHR$(218);"          1          ";CHR$(191)
8090      LOCATE 8,25:PRINT"Kc(a) = Kc";CHR$(179);" 1 +
";CHR$(196);CHR$(196);CHR$(196);CHR$(196);CHR$(196);CHR$(196);" + a.Tder
";CHR$(179)
8100      LOCATE 9,33:PRINT CHR$(192);"          a.Tint          ";CHR$(217)
8110      LOCATE 13,32:PRINT"Kc =";PRINT
8120      PRINT TAB(30) "Tint =";PRINT
8130      PRINT TAB(30) "Tder ="
8140      V = 6: H = 23: LENGTH = 36: HIGH = 4
8150      GOSUB 3960          ' Dibujar recuadro
8160      RETURN
8170      ' SUBROUTINA Alterar parámetros del Controlador
8180      ROW=22:COL=20:GOSUB 4350 'Borrar fila
8190      ' Ingreso de Kc
8200      LOCATE 13,28:COLOR 23,0:PRINT CHR$(16):COLOR 7,0
8210      CAR$=INKEY$:IF CAR$="" GOTO 8210
8220      IF CAR$=CHR$(13) GOTO 8290          'Enter
8230      IF ASC(CAR$)=32 GOTO 8240 ELSE 8210 'Espaciador
8240      COL=37:ROW=13:HZ=0
8250      PROMPT$ = "" :SHORT = 1: LONG = 5
8260      GOSUB 4410          ' Ingreso de datos
8270      IF H% = 7 GOTO 8290
8280      K1 = VAL(ENTRY$)
8290      ' limitación sobre valor de K1
8300      IF K1>=1 AND K1<=500 GOTO 8390
8310      LOCATE 20,10:PRINT "Kc debe estar entre 0.1 y 500":SOUND 4000,3
8320      FOR TIME = 1 TO 6000:NEXT
8330      ROW=20:COL=8
8340      GOSUB 4350          ' Borrar fila
8350      LOCATE 13,37:PRINT K1:GOTO 8190
8360      '
8370      '
8380      '
8390      LOCATE 13,37:PRINT K1:LOCATE 13,28:PRINT " "
8400      ' Ingreso de Tint
8410      LOCATE 13,28:COLOR 23,7:PRINT CHR$(16):COLOR 7,0
8420      CAR$=INKEY$:IF CAR$="" GOTO 8420
8430      IF CAR$=CHR$(13) GOTO 8500          'Enter
8440      IF ASC(CAR$)=32 GOTO 8450 ELSE 8420 'Espaciador
8450      COL = 37:ROW = 13: H% = 0
8460      PROMPT$ = "" :SHORT = 1: LONG = 5
8470      GOSUB 4410          ' Ingreso de datos
8480      IF H% = 7 GOTO 8500
8490      TINT = VAL(ENTRY$)
8500      ' Limitan sobre valor de Tint
8510      IF TINT>5 GOTO 8600
8520      LOCATE 20,10:PRINT "Tint debe ser mayor a 1":SOUND 4000,3
8530      FOR TIME = 1 TO 6000:NEXT
8540      ROW=20:COL=8

```

```

8550 GOSUB 4350 ' Borrar fila
8560 LOCATE 15,37:PRINT TINT:GOTO 8400
8570 '
8580 '
8590 '
8600 LOCATE 15,37:PRINT TINT:LOCATE 15,28:PRINT " "
8610 ' Ingreso de Tder
8620 LOCATE 17,28:COLOR 23,7:PRINT CHR$(16):COLOR 7,0
8630 CAR$=INKEY$:IF CAR$="" GOTO 8630
8640 IF CAR$=CHR$(13) GOTO 8710 'Enter
8650 IF ASC(CAR$)=32 GOTO 8660 ELSE 8630 'Espaciador
8660 COL = 37: ROW = 17: H% = 0
8670 PROMPT$ = "": SHORT = 1: LONG = 5
8680 GOSUB 4410 'Ingreso de datos
8690 IF H% = 7 GOTO 8710
8700 TDER = VAL(ENTRY$)
8710 ' Limitan sobre valor de Tder
8720 IF TDER>=0 AND TDER<=50 GOTO 8810
8730 LOCATE 20,10:PRINT "Tder debe ser menor a 50":SOUND 4000,3
8740 FOR TIME = 1 TO 6000:NEXT
8750 ROW=20:COL=8
8760 GOSUB 4350 ' Borrar fila
8770 LOCATE 17,37:PRINT TDER:GOTO 8610
8780 '
8790 '
8800 '
8810 LOCATE 17,37:PRINT TDER:LOCATE 17,28:PRINT " "
8820 RETURN
8830 ' SUBROUTINA: Pantalla "Control manual"
8840 CLS:FOR TIME = 1 TO 500:NEXT:CLS
8850 LOCATE 1,68:PRINT"COPROTEM"
8860 LOCATE 4,32:PRINT"CONTROL MANUAL"
8870 LOCATE 8,20:PRINT"M 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 M"
8880 LOCATE 10,20:PRINT STRING$(4,27);" ENFRIA
";STRING$(8,196);"*";STRING$(6,196);" CALIENTA ";STRING$(5,26)
8890 LOCATE 12,20:PRINT"Controlar con teclas: ";CHR$(26);" y ";CHR$(27);"
Esc finaliza"
8900 V=16:H=1:LENGTH=23:HIGH=2
8910 GOSUB 3960 ' Dibujar recuadro
8920 LOCATE 17,3:PRINT"TEMPERATURA = ";CHR$(248);"C"
8930 V=21:H=1:LENGTH=23:HIGH=2
8940 GOSUB 3960 ' Dibujar recuadro
8950 LOCATE 22,3:PRINT"T. AUXILIAR = ";CHR$(248);"C"
8960 LOCATE 6,19:PRINT"max"
8970 LOCATE 6,39:PRINT"max"
8980 V=5:H=17:LENGTH=47:HIGH=6
8990 GOSUB 3960 ' Dibujar recuadro
9000 RETURN
9010 ' SUBROUTINA: Muestreo de temperatura para gráficos
9020 PRINT #1, USING"###.#";EJEX,EJEY,TIMEDX,ACTGRA,EREL(N%),TREF
9030 RETURN
9040 ' SUBROUTINA Menú Parámetros
9050 CLS:FOR TIME = 1 TO 500:NEXT:CLS
9060 LOCATE 1,68:PRINT"COPROTEM"
9070 LOCATE 8,34:PRINT"PARAMETROS"
9080 ' Definición de los argumentos del menú
9090 MENOPT$(1) = "1. Salir"
9100 MENOPT$(2) = "2. Controlador"
9110 MENOPT$(3) = "3. Auxiliares"
9120 LAST = 3
9130 FOR CHOICE = 1 TO LAST
9140 ROW%(CHOICE) = 2*CHOICE +10
9150 COL%(CHOICE) = 33
9160 NEXT
9170 GOSUB 4890 'Generación del menú
9180 IF PICK = 2 THEN GOSUB 1440:GOTO 9040
9190 IF PICK = 3 THEN GOSUB 10740:GOTO 9040
9200 CLS
9210 RETURN
9220 ' SUBROUTINA: Pantalla "Parámetros Auxiliares"
9230 CLS
9240 LOCATE 1,68:PRINT"COPROTEM"

```

```

9250 LOCATE 4,30:PRINT"PARAMETROS AUXILIARES"
9260 LOCATE 8,6:PRINT"Pendientes máximas"
9270 LOCATE 8,30:PRINT"Límites de temperatura"
9280 LOCATE 8,61:PRINT"Transmisor"
9290 LOCATE 9,2:PRINT"-----"
9300 LOCATE 9,30:PRINT"-----"
9310 LOCATE 9,39:PRINT STRING$(15,"-")
9320 LOCATE 11,2:PRINT"CALENTAMIENTO: ";CHR$(248); "C/min"
9330 LOCATE 14,2:PRINT"ENFRIAMIENTO: ";CHR$(248); "C/min"
9340 LOCATE 11,33:PRINT"MAXIMO = ";CHR$(248); "C"
9350 LOCATE 14,33:PRINT"MINIMO = ";CHR$(248); "C"
9360 LOCATE 11,59:PRINT "PRINCIPAL"
9370 LOCATE 13,59:PRINT "factor = ";CHR$(248); "C/V"
9380 LOCATE 15,59:PRINT "AUXILIAR (S/N): "
9390 LOCATE 17,59:PRINT "factor = ";CHR$(248); "C/V"
9400 LOCATE 19,59:PRINT "T.Muestreo = ";CHR$(248); "s"
9410 RETURN
9420 ' SUBROUTINA Alterar parámetros Auxiliares
9430 ROW=22:COL=20:GOSUB 4330 'Borrar fila
9440 ' Ingreso de PCAL
9450 LOCATE 11,1:COLOR 23,0:PRINT CHR$(16):COLOR 7,0
9460 CAR#=INKEY#:IF CAR#="" GOTO 9460
9470 IF CAR#=CHR$(13) GOTO 9540 'Enter
9480 IF ASC(CAR#)=32 GOTO 9490 ELSE 9460 'Espaciador
9490 COL=16:ROW=11:H%=0
9500 PROMPT#="";SHORT = 1:LONG=2
9510 GOSUB 4410 'Ingreso de datos
9520 IF H% = 7 GOTO 9540
9530 PCAL = VAL(ENTRY#)
9540 IF PCAL >= 0 GOTO 9600
9550 LOCATE 20,5:PRINT"PENDIENTE ILEGAL":BEEP
9560 FOR TIME = 1 TO 6000:NEXT
9570 ROW = 20:COL = 2
9580 GOSUB 4330 'Borrar fila
9590 LOCATE 11,16:PRINT PCAL:GOTO 9440
9600 LOCATE 11,16:PRINT PCAL:LOCATE 11,1:PRINT " "
9610 ' Ingreso de PENF
9620 LOCATE 14,1:COLOR 23,0:PRINT CHR$(16):COLOR 7,0
9630 CAR#=INKEY#:IF CAR#="" GOTO 9630
9640 IF CAR#=CHR$(13) GOTO 9710 'Enter
9650 IF ASC(CAR#)=32 GOTO 9660 ELSE 9630 'Espacio
9660 COL=16:ROW=14:H%=0
9670 PROMPT#="";SHORT=1:LONG=2
9680 GOSUB 4410 'Ingreso de datos
9690 IF H% = 7 GOTO 9710
9700 PENF = VAL(ENTRY#)
9710 IF PENF >= 0 GOTO 9770
9720 LOCATE 20,5:PRINT"PENDIENTE ILEGAL":BEEP
9730 FOR TIME = 1 TO 6000:NEXT
9740 ROW = 20:COL = 2
9750 GOSUB 4330 'Borrar fila
9760 LOCATE 14,16:PRINT PENF:GOTO 9610
9770 LOCATE 14,16:PRINT PENF:LOCATE 14,1:PRINT " "
9780 ' Ingreso de MAX
9790 LOCATE 11,32:COLOR 23,0:PRINT CHR$(16):COLOR 7,0
9800 CAR#=INKEY#:IF CAR#="" GOTO 9800
9810 IF CAR#=CHR$(13) GOTO 9880 'Enter
9820 IF ASC(CAR#)=32 GOTO 9830 ELSE 9800 'Espaciador
9830 COL=41:ROW=11:H%=0
9840 PROMPT#="";SHORT=1:LONG=3
9850 GOSUB 4410 'Ingreso de datos
9860 IF H% = 7 GOTO 9880
9870 MAX = VAL(ENTRY#)
9880 LOCATE 11,41:PRINT MAX:LOCATE 11,32:PRINT " "
9890 ' Ingreso de MIN
9900 LOCATE 14,32:COLOR 23,0:PRINT CHR$(16):COLOR 7,0
9910 CAR#=INKEY#:IF CAR#="" GOTO 9910
9920 IF CAR#=CHR$(13) GOTO 9990 'Enter
9930 IF ASC(CAR#)=32 GOTO 9940 ELSE 9910 'Espaciador
9940 COL=41:ROW=14:H%=0
9950 PROMPT#="";SHORT = 1:LONG = 3
9960 GOSUB 4410 'Ingreso de datos

```

```

9970     IF H% = 7 GOTO 9990
9980     MIN = VAL(ENTRY*)
9990     IF MAX - MIN >= 1 GOTO 10050
10000    LOCATE 20,20:PRINT"NO ES POSIBLE TRABAJAR EN LA ZONA DEFINIDA":BEEP
10010    FOR TIME = 1 TO 8000:NEXT:SOUND 4000,1
10020    ROW=20:COL=2
10030    GOSUB 4350      'Borrar fila
10040    LOCATE 14,41:PRINT MIN:LOCATE 14,32:PRINT " ":GOTO 9780
10050    LOCATE 14,41:PRINT MIN:LOCATE 14,32:PRINT " "
10060    ' Ingreso de FACTRANS
10070    LOCATE 13,58:COLOR 23,0:PRINT CHR*(16):COLOR 7,0
10080    CAR*=INKEY*:IF CAR*="" GOTO 10080
10090    IF CAR*=CHR*(13) GOTO 10160          'Enter
10100    IF ASC(CAR*)=32 GOTO 10110 ELSE 10080  'Espaciador
10110    COL=67:ROW=13:H%=0
10120    PROMPT*="":SHORT = 1:LONG = 2
10130    GOSUB 4410
10140    IF H% = 7 GOTO 10160
10150    FACTRANS = VAL(ENTRY*)
10160    IF FACTRANS >= 0 AND FACTRANS < 100 GOTO 10220
10170    LOCATE 21,35:PRINT"Debe ser un valor POSITIVO":BEEP
10180    FOR TIME = 1 TO 6000:NEXT
10190    ROW = 21:COL = 2
10200    GOSUB 4350      'Borrar fila
10210    LOCATE 13,67:PRINT FACTRANS:LOCATE 13,58:PRINT " ":GOTO 10060
10220    LOCATE 13,67:PRINT FACTRANS:LOCATE 13,58:PRINT " "
10230    ' Existe transmisor Auxiliar ?
10240    LOCATE 15,74:COLOR 27,0:PRINT CHR*(16):COLOR 7,0
10250    CAR*=INKEY*:IF CAR*="" GOTO 10250
10260    IF CAR* = CHR*(13) GOTO 10330          'Enter
10270    IF ASC(CAR*)=32 GOTO 10280 ELSE 10250  'Espaciador
10280    COL=76:ROW=15:H%=0
10290    PROMPT*="":SHORT=1:LONG=2
10300    GOSUB 4410
10310    IF H%=7 GOTO 10330
10320    TRANX*=ENTRY*
10330    IF TRANX*="N" OR TRANX*="n" THEN FACTRANX = 0:GOTO 10350
10340    IF TRANX*="S" OR TRANX*="s" GOTO 10350 ELSE 10280
10350    LOCATE 15,74: PRINT " "
10360    ' Ingreso de FACTRANX
10370    IF TRANX*="N" OR TRANX*="n" GOTO 10710
10380    LOCATE 17,58:COLOR 23,0:PRINT CHR*(16):COLOR 7,0
10390    CAR*=INKEY*:IF CAR*="" GOTO 10390
10400    IF CAR* = CHR*(13) GOTO 10470          'Enter
10410    IF ASC(CAR*)=32 GOTO 10420 ELSE 10390  'Espaciador
10420    COL=67:ROW=17:H%=0
10430    PROMPT*="":SHORT=1:LONG=2
10440    GOSUB 4410
10450    IF H%=7 GOTO 10470
10460    FACTRANX = VAL(ENTRY*)
10470    IF FACTRANX >= 0 AND FACTRANX < 100 GOTO 10530
10480    LOCATE 21,35:PRINT "Debe ser un valor POSITIVO":BEEP
10490    FOR TIME = 1 TO 6000:NEXT
10500    ROW=21:COL=2
10510    GOSUB 4350      'Borrar fila
10520    LOCATE 17,67:PRINT FACTRANX:LOCATE 17,58:PRINT " ":GOTO 10420
10530    LOCATE 17,67:PRINT FACTRANX:LOCATE 17,58:PRINT " "
10540    ' Ingreso de TG%
10550    LOCATE 19,58:COLOR 23,0:PRINT CHR*(16):COLOR 7,0
10560    CAR*=INKEY*:IF CAR*="" GOTO 10560
10570    IF CAR*=CHR*(13) GOTO 10640          'Enter
10580    IF ASC(CAR*)=32 GOTO 10590 ELSE 10560  'Espaciador
10590    COL=72:ROW=19:H%=0
10600    PROMPT*="":SHORT=1:LONG=3
10610    GOSUB 4410
10620    IF H%=7 GOTO 10640  'Esc
10630    TG% = VAL(ENTRY*)
10640    IF TG% >= 3 GOTO 10700
10650    LOCATE 21,50:PRINT "VALOR MINIMO = 3 segundos"
10660    BEEP:FOR TIME = 1 TO 6000:NEXT
10670    ROW = 21:COL = 2
10680    GOSUB 4350      'Borrar fila

```

```

10690 LOCATE 19,72:PRINT TG%:LOCATE 19,58:PRINT " "GOTO 10540
10700 LOCATE 19,72:PRINT TG%:LOCATE 19,58:PRINT " "
10710 RETURN
10720 ' SUBROUTINA Parámetros Auxiliares Prefijados
10730 GOSUB 500:RETURN
10740 ' PARAMETROS AUXILIARES
10750 CLS:FOR TIME = 1 TO 500:NEXT:CLS
10760 GOSUB 9220 ' Pantalla "Parámetros Auxiliares"
10770 ' Llenar la pantalla
10780 LOCATE 11,16:PRINT " "
10790 LOCATE 11,16:PRINT PCAL
10800 LOCATE 14,16:PRINT " "
10810 LOCATE 14,16:PRINT PENF
10820 LOCATE 11,41:PRINT " "
10830 LOCATE 11,41:PRINT MAX
10840 LOCATE 14,41:PRINT " "
10850 LOCATE 14,41:PRINT MIN
10860 LOCATE 13,67:PRINT " "
10870 LOCATE 13,67:PRINT FACTRANS
10880 LOCATE 17,67:PRINT " "
10890 LOCATE 17,67:PRINT FACTRANX
10900 LOCATE 15,76:PRINT " "
10910 LOCATE 15,76:PRINT TRANXS
10920 LOCATE 19,71:PRINT " "
10930 LOCATE 19,71:PRINT TG%
10940 ' Generación del menú Salir Alterar Prefijados
10950 ' Definición de argumentos
10960 MENOPTS(1) = "(1) Salir"
10970 MENOPTS(2) = "(2) Alterar"
10980 MENOPTS(3) = "(3) Prefijados"
10990 LAST = 3
11000 FOR CHOICE = 1 TO LAST
11010 ROW%(CHOICE) = 22
11020 COL%(CHOICE) = (CHOICE - 1)*15 + 22
11030 NEXT
11040 GOSUB 4890 ' Subrutina de generación del menú
11050 IF PICK = 1 GOTO 11080 ' Salir
11060 IF PICK = 2 THEN GOSUB 9420:GOTO 10740 ' Alterar
11070 GOSUB 10720:GOTO 10740 ' Auxiliares Prefijados
11080 RETURN
11090 ' SUBROUTINA: Interrupción de emergencia
11100 SOUND 121,5:SOUND 800,4
11110 CLS:LOCATE 10,10:PRINT "INTERRUPCION DE EMERGENCIA"
11120 ACTUA(N%) = 0
11130 GOSUB 5230 ' Encerar salida analógica
11140 EMERINT = 100
11150 FOR TIME = 1 TO 6000:NEXT
11160 RETURN
11170 '
11180 ' Definición del archivo PCLAB BASIC
11190 ADC.VALUE=3 : ADC.ON.TRIGGER=6 : SETUP.ADC=9 : ADC.SERIES=12
11200 BEGIN.ADC.DMA=15 : TEST.ADC.DMA=18 : WAIT.ADC.DMA=21
11210 DAC.VALUE=24 : DAC.ON.TRIGGER=27 : SETUP.DAC=30 : DAC.SERIES=33
11220 BEGIN.DAC.DMA=36 : TEST.DAC.DMA=39 : WAIT.DAC.DMA=42
11230 SET.CLOCK.DIVIDER=45 : SET.SLOW.CLOCK=48 : SET.CLOCK.FREQUENCY=51
11240 SET.CLOCK.PERIOD=54 : ENABLE.FOR.INPUT=57 : ENABLE.FOR.OUTPUT=60
11250 INPUT.DIGITAL.VALUE=63 : OUTPUT.DIGITAL.VALUE=66
11260 INPUT.DIGITAL.ON.TRIGGER=69 : OUTPUT.DIGITAL.ON.TRIGGER=72
11270 SET.ERROR.CONTROL.WORD=75 : GET.ERROR.CODE=78 : SELECT.BOARD=81
11280 SET.BASE.ADDRESS=84 : SET.DMA.CHANNEL=87 : SET.ADC.RANGE=90
11290 SET.ADC.CHANNELS=93 : SET.DAC.RANGE=96 : SET.LINE.FREQUENCY=99
11300 SET.TOP.GAIN=102 : SET.TIMEDUT=105 : GET.DT.ERROR=108 : RESET.DT=111
11310 GET.DT.STATUS=114 : CALL.WFC=117 : CALL.WFD=120 : CALL.WFI=123
11320 STOP.ADC.DMA=126 : STOP.DAC.DMA=129
11330 CONTINUOUS.ADC.DMA=132 : CONTINUOUS.DAC.DMA=135
11340 DELAY=138 : STROBE=141 : WAIT.ON.DELAY=144 : GENERATE.CLOCK=147
11350 COUNT.EVENTS=150 : READ.EVENTS=153 : GET.FREQUENCY=156 : STOP.CLOCK=159
11360 INITIALIZE=162 : TERMINATE=165 : ISBX.READ=168 : ISBX.WRITE=171
11370 FIND.DMA.LENGTH=174 : ENABLE.SYSTEM.CLOCK=177 : DISABLE.SYSTEM.CLOCK=180
11380 DEF SEG=340 ' definición del segmento PCLAB
11390 PCLSEG = PEEK ( &H4FE ) + 255*PEEK ( &H4FF )
11400 DEF SEG=PCLSEG ' Dirección del segmento PCLAB

```

11410 GOTO 120
11420 .
11430 .
11440 . *** FIN DE COPROTEM ***

A C T U A D O R

Listado del programa
en ASSEMBLY

Para el microcontrolador

8751H

(PWM)

```

SJMP      INICIO          ;En reset vaya a inicio
DEFSEG   RUTI,START=13H;Se define segmento para
          ;RUTINA DE INTERRUPCION
DEFSEG   CODI,START=50H;Se define segmento para
          ;CODIGO

          SEG      RUTI
          ORG      13H
          LJMP     INDATO
          SEG      CODI          ;Ir a segmento de CODIGO
          ORG      50H          ;Principio del segmento
          ;CODIGO

INICIO:   MOV      SP,#5FH      ;Inicialice el stack en 60H
          CALL     IN_UDL      ;Subrutina para
          ;inicializacion de
          ;parámetros del UDL.
          MOV      P1,#60H     ;Encerar puerto 1 y
          ;habilitar conversor A/D

          MOV      DPTR,#0
          MOVX     @DPTR,A
          MOV      TCON,#1H
          CLR      EX1          ;Deshabilitar INT1
          MOV      TMOD,#50H
          MOV      DPTR,#0
          PUSH     ACC
          MOVX     A,@DPTR
          POP      ACC
          ANL      TL1,#0H     ;Encerar el contador de
          ;cruces por cero
          SETB     P1.7        ;Deshabilitar conversor A/D
          ;(CS)
NUEVO:   JNB      T0,CALOR     ;Chequear T0, si T0 = 0
          ;ir a CALOR
FRIO:    MOV      P1,#0BBH     ;Active señal de
          ;enfriamiento
          CLR      TCON.6      ;Desactive contador
          ANL      TL1,#0H     ;Encerar el contador
          SJMP     LISTO       ;Terminado, vaya a LISTO
CALOR:   MOV      A,#0FFH      ;Preparar Acumulador para
          ;lazo de espera de
          ;interrupción
          CLR      P1.7        ;Habilitar conversor A/D
          MOV      DPTR,#0
          MOVX     @DPTR,A     ;Enviar señal WR
          SETB     EX1          ;Habilitar interrupción
LAZO:    JNZ      LAZO         ;Esperar por interrupción
          ;Regresa de la rutina de
          ;atención a la interrupción
          ;con el VALOR leído en el
          ;registro ;R2
CUENTA:  SETB     TCON.6       ;Activar el contador

```

```

MOV      A,R2          ;Cargue acumulador con
                        ;VALOR
SUBB     A,TL1         ;VALOR leído en P0 - CUENTA
                        ;de cruces por cero
JC       OFFCAL        ;Si CUENTA > VALOR ir a
                        ;OFFCAL
ONCAL:   MOV      A,R2
JZ       OFFCAL
MOV      P1,#0C7H     ;Active señal de
                        ;calentamiento, con señal
                        ;de enfriamiento en Off
SJMP     LISTO        ;Terminado, vaya a LISTO
OFFCAL:  MOV      P1,#0C0H ;Desactivar señal de
                        ;calentamiento, con señal
                        ;de enfriamiento Off
LISTO:   SJMP     NUEVO ;Realizar otra lectura
;
;           RUTINA DE ATENCION A LA INTERRUPCION
;           Lectura del conversor A/D
;
ORG      OAOH         ;Rutina comienza en AOH
INDATO:  CLR      EX1  ;Deshabilitar INT1
MOV      DPTR,#0
PUSH     ACC
MOVBX   A,@DPTR      ;Enviar señal RD e ingresar
                        ;VALOR
MOV      R2,A        ;Guardar VALOR en R2
POP      ACC
CLR      A
SETB    P1.7         ;Desactivar conversor A/D
RETI    ;Regresar a programa
                        ;principal
;
;IN_UDL: Rutina de inicialización de la interrupción
;         externa INTO para utilización del UDL.
;
IN_UDL:  SETB     EA   ;Habilite interrupciones
                        ;IRQ's.
SETB     ITO         ;Inicialice INT 0 para que
                        ;sea disparada por flanco
SETB     PX0         ;Inicialice prioridad de
                        ;interrupcion alta para INT
                        ;0
SETB     EX0         ;Habilite IE para INTO
                        ;utilizada por el UDL
RET      ;Regrese a rutina
                        ;invocante.
FIN:    END

```

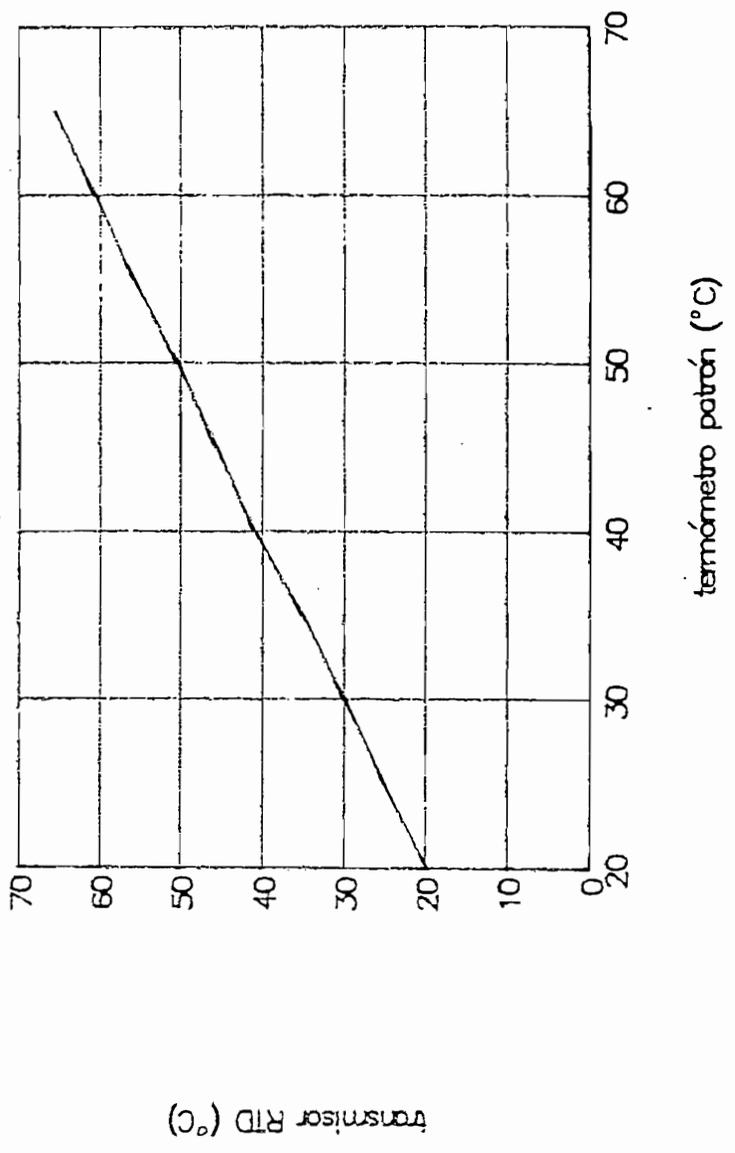
A N E X O C

G R A F I C O S

Resultados Experimentales

Experimento 1

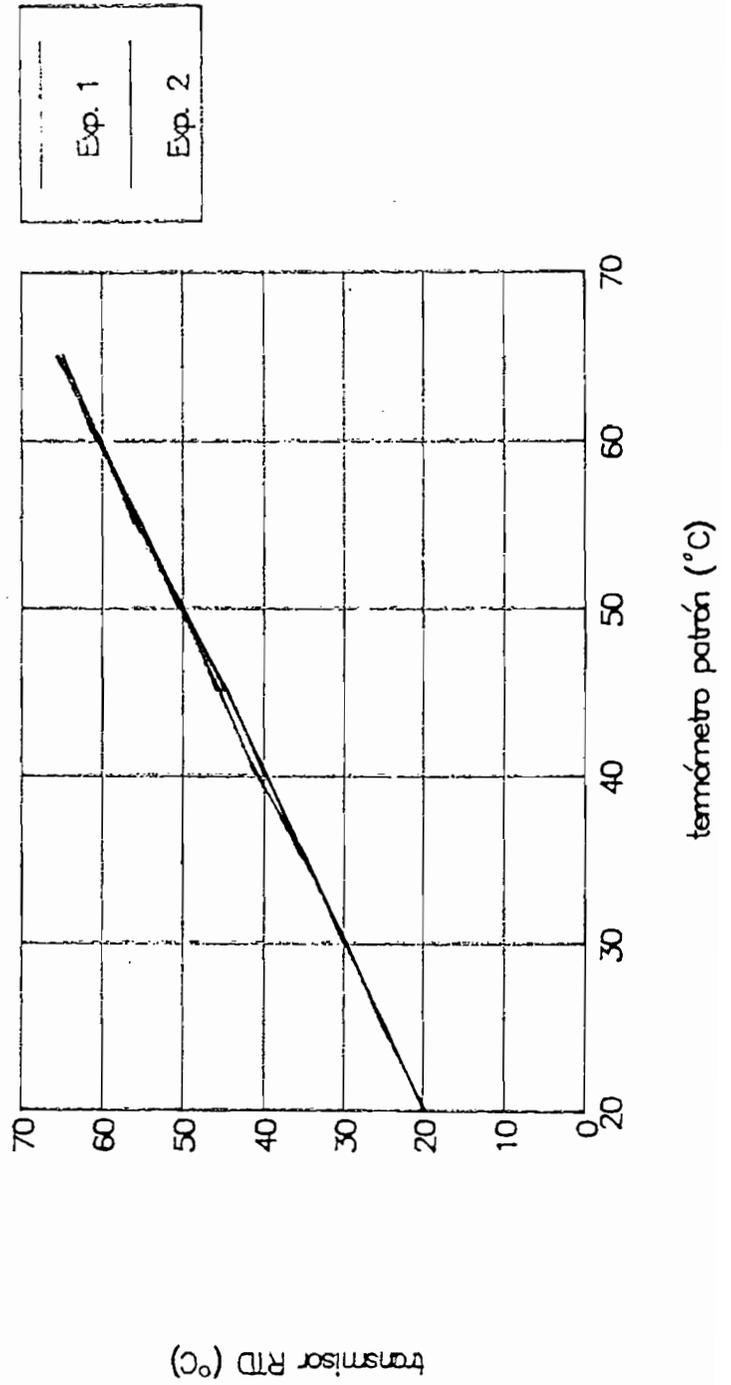
Linealidad



Exp. 1

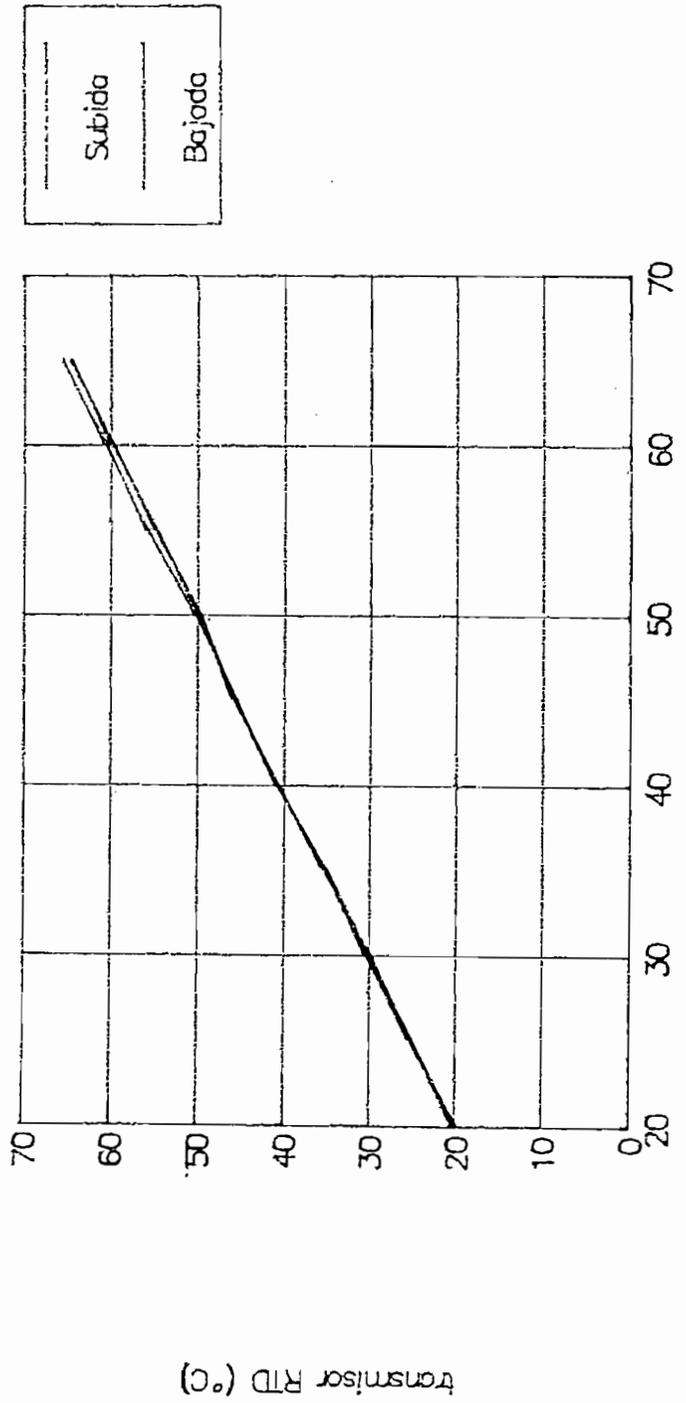
Experimento 2

Repetitividad



Experimento 3

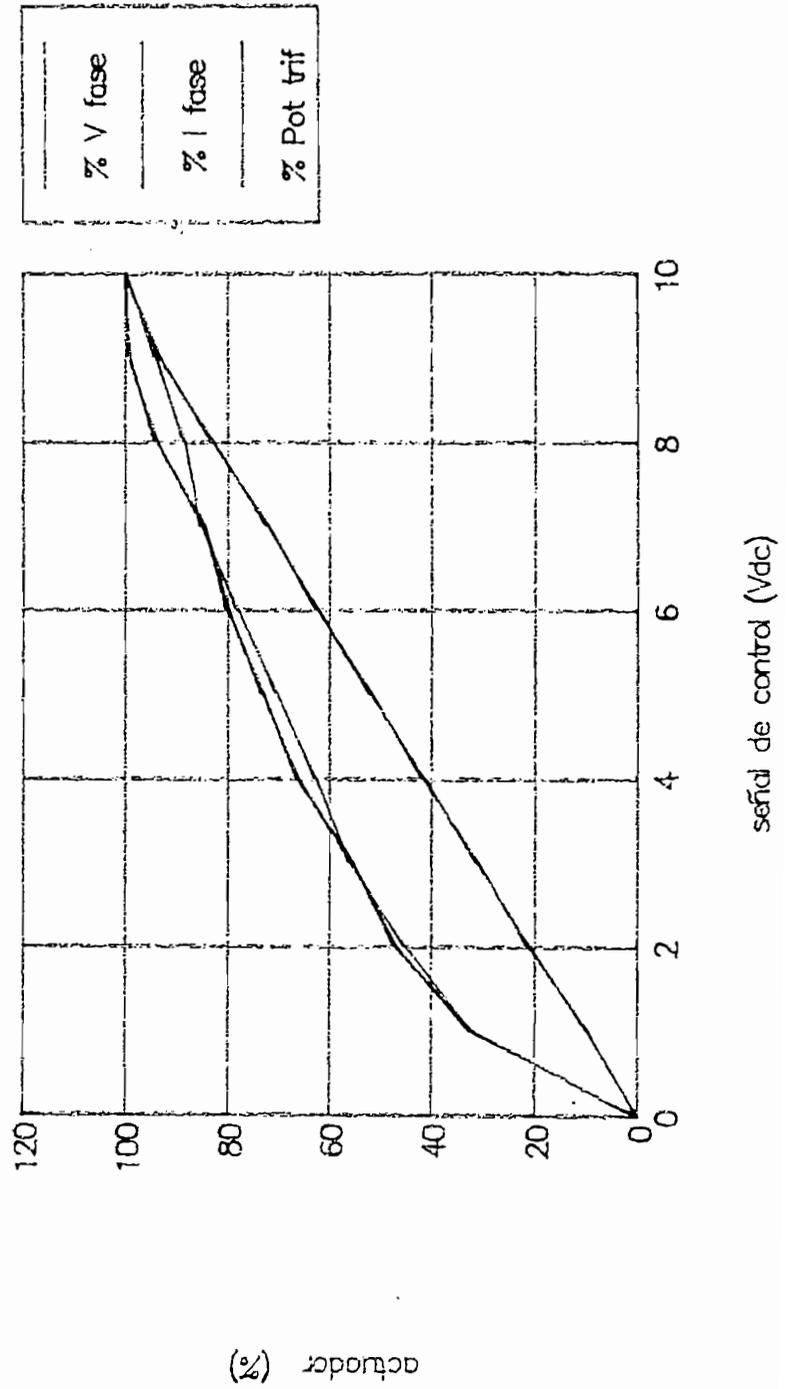
Histéresis



--- termómetro patrón (°C)

Experimento 4

Transferencia (calentamiento)



Experimento 5

Pendientes máximas

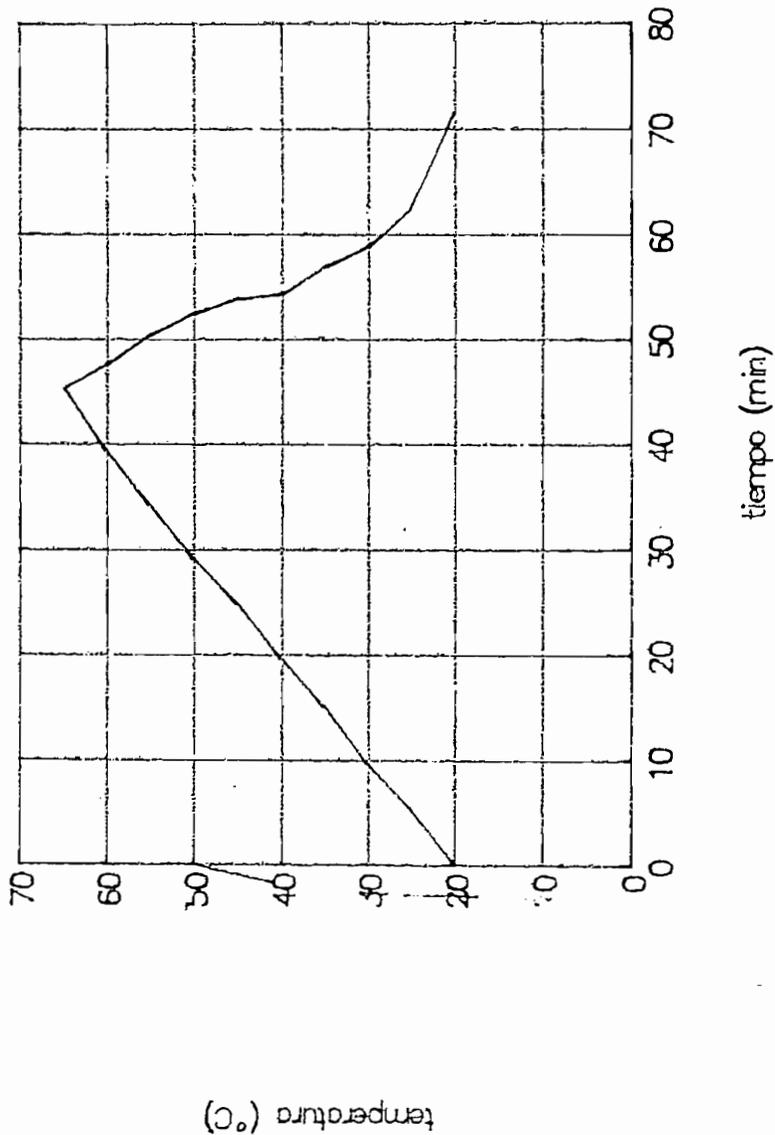
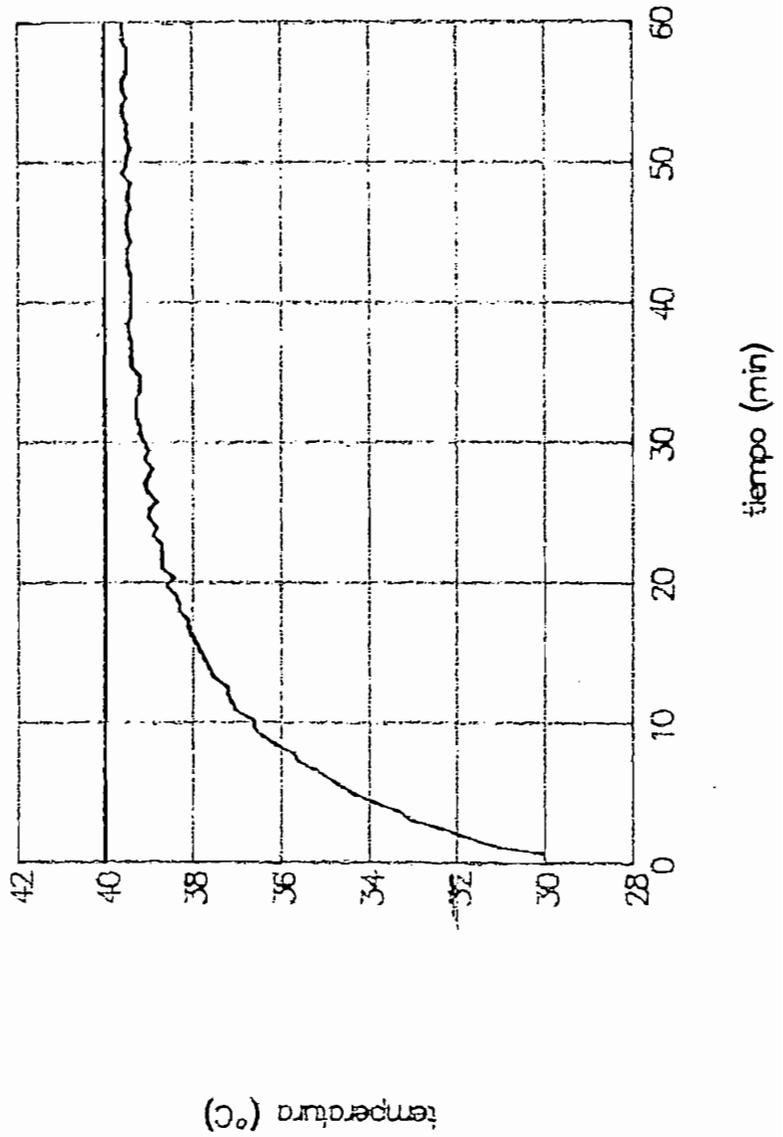


GRAFICO # 01

$K_c = 1$ $T_i = 99999$ $T_d = 0$



Respuesta
Referencia

GRAFICO # 02

$K_c = 200$ $T_I = 99999$ $T_d = 0$

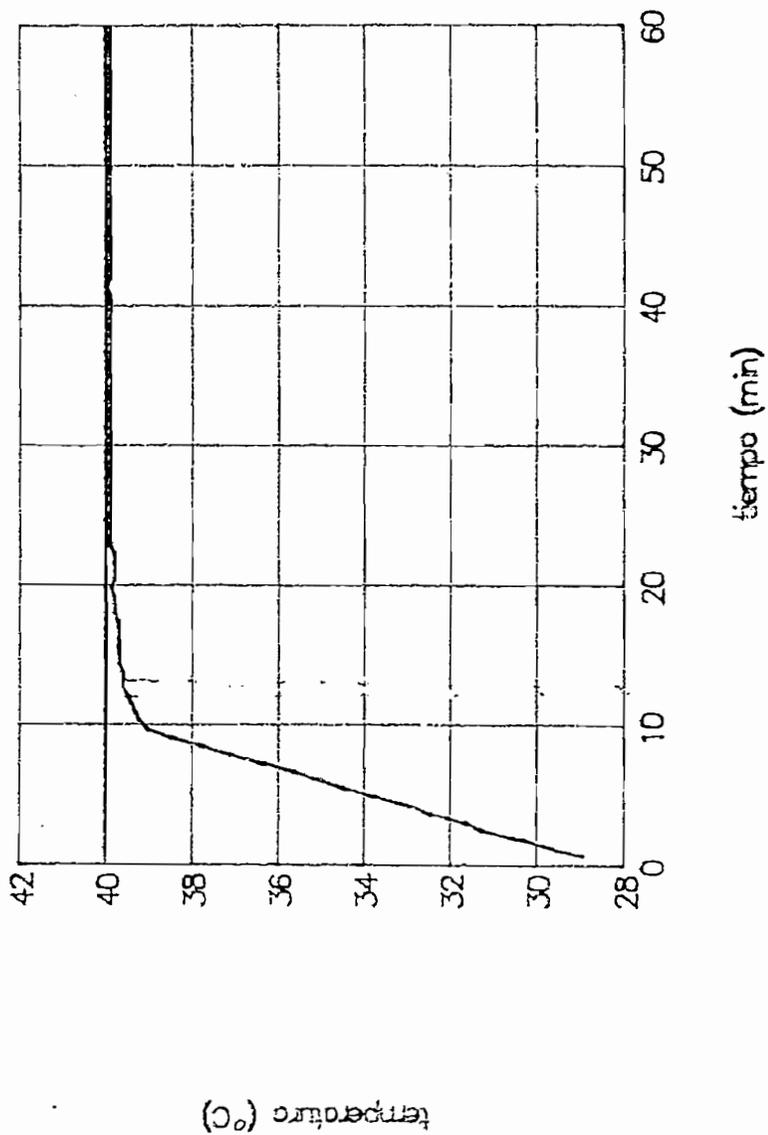


GRAFICO # 03

$K_c = 500$ $T_i = 99999$ $T_d = 0$

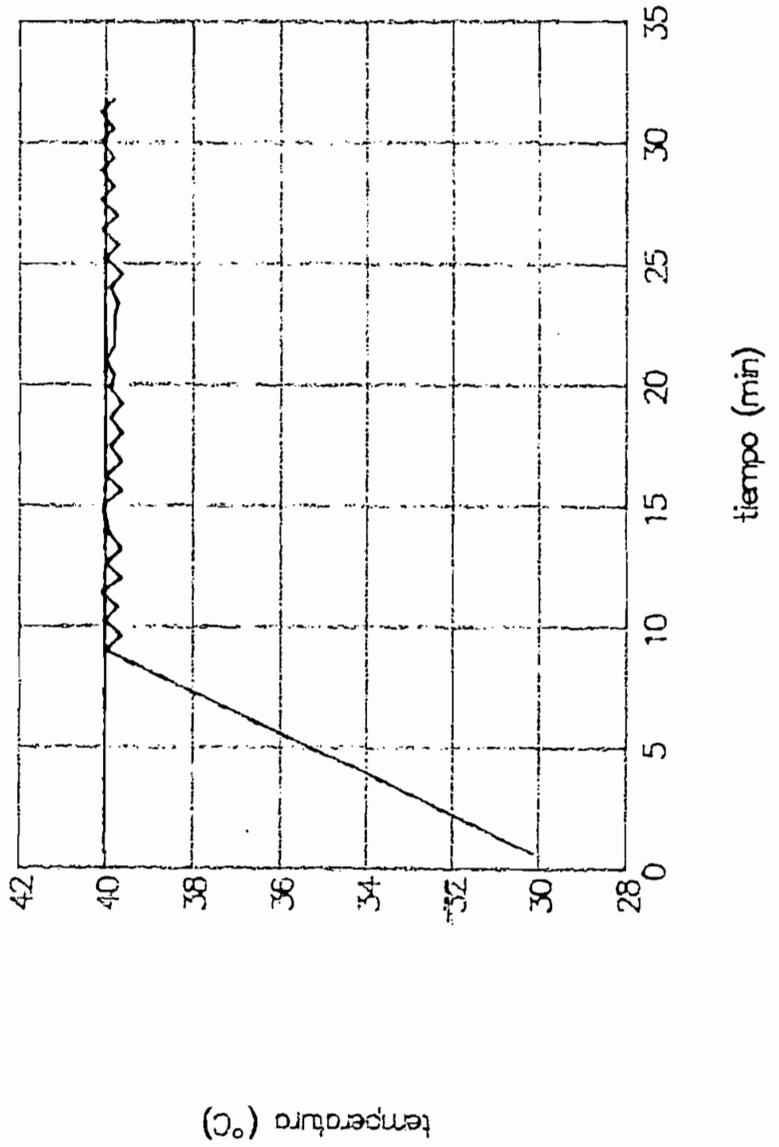


GRAFICO # 04

$K_c = 30$ $T_i = 50$ $T_d = 0$

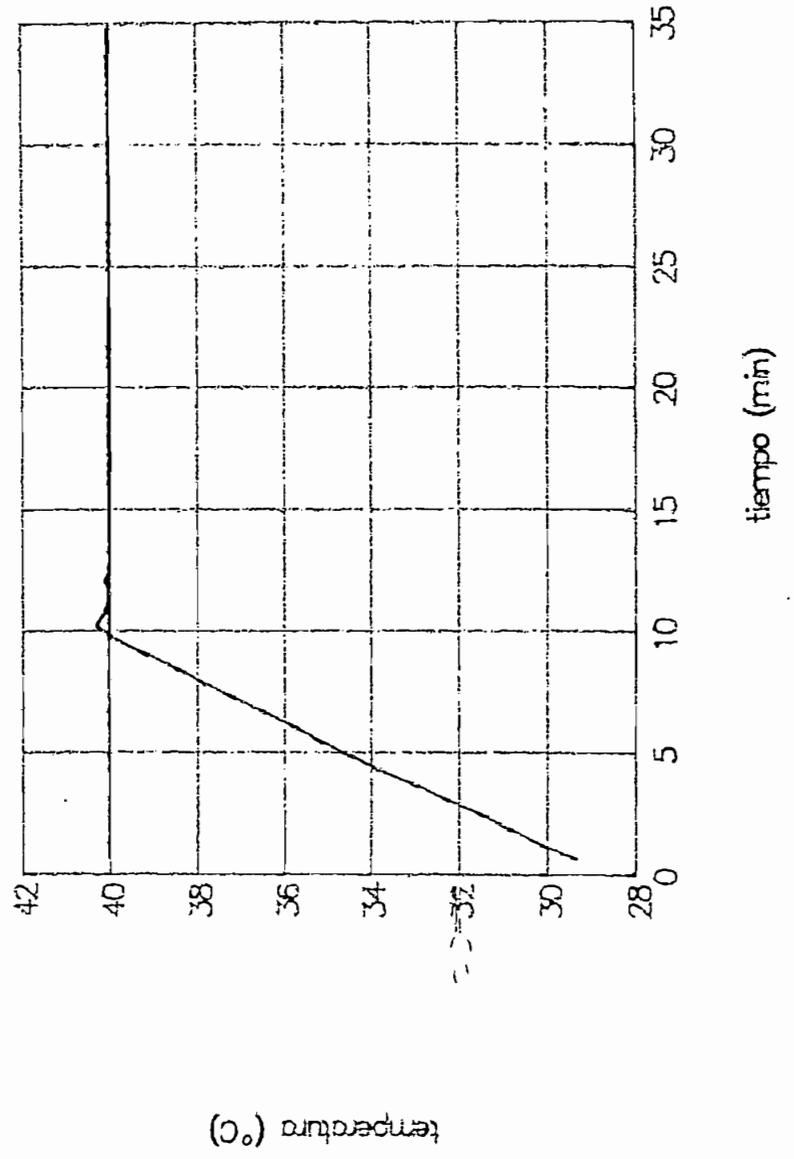


GRÁFICO # 05

$K_c = 30$ $T_i = 50$ $T_d = 1$

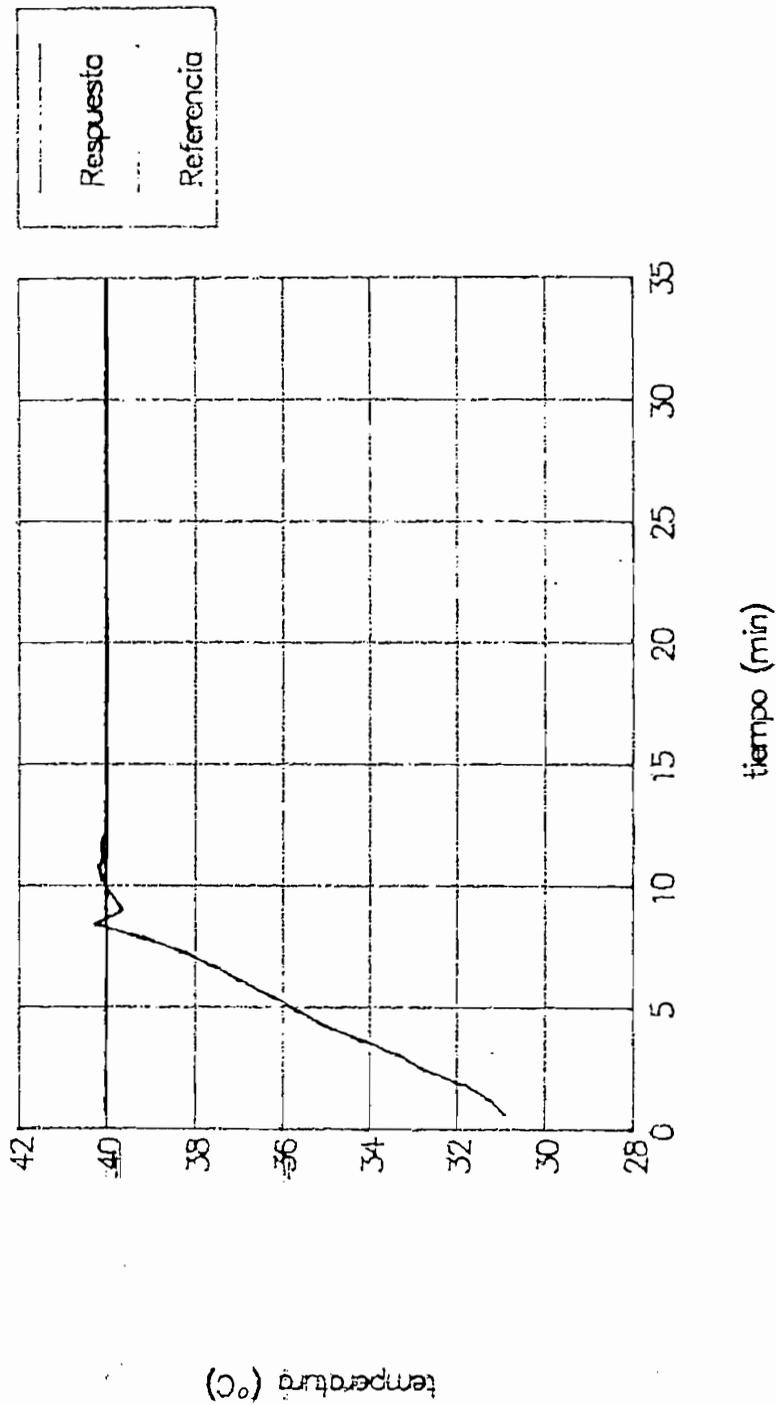


GRAFICO # 06

$K_c = 25$ $T_i = 50$ $T_d = 0.5$

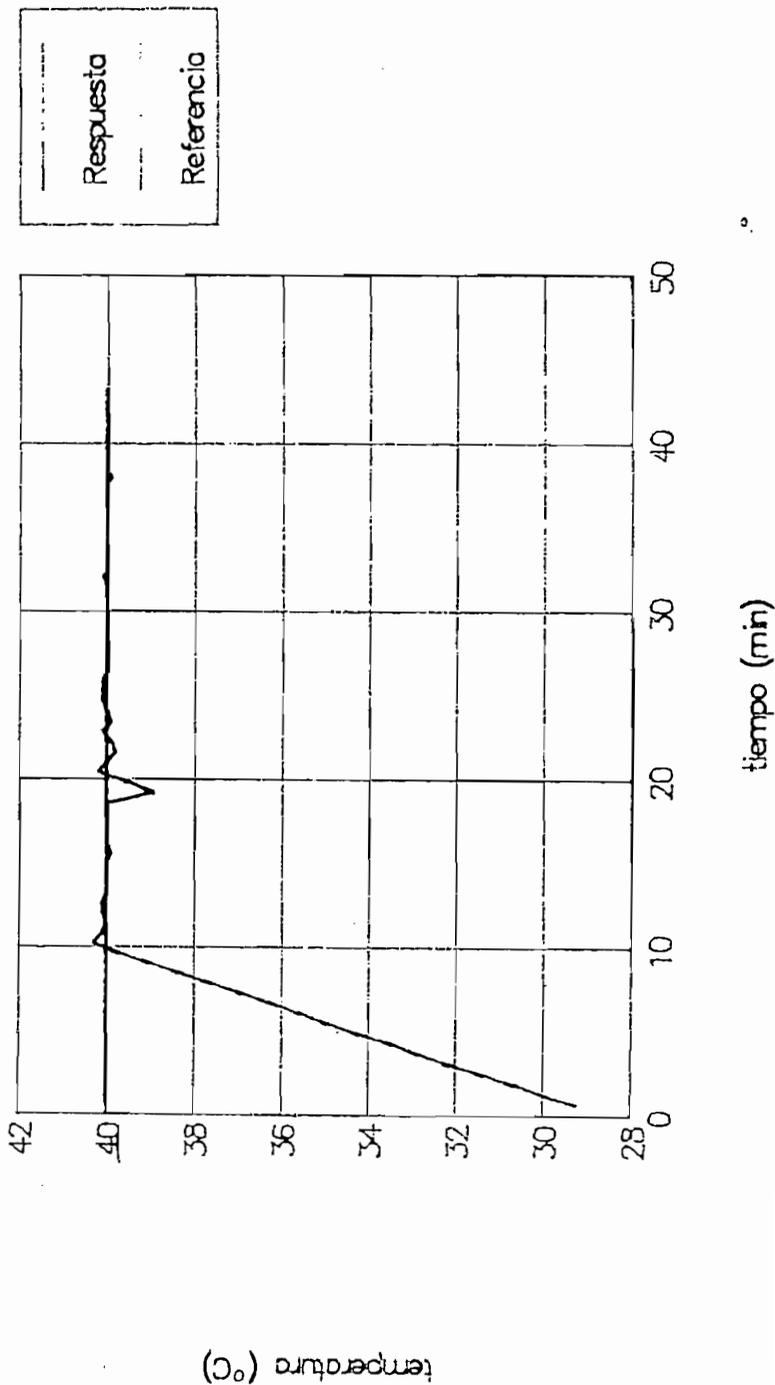
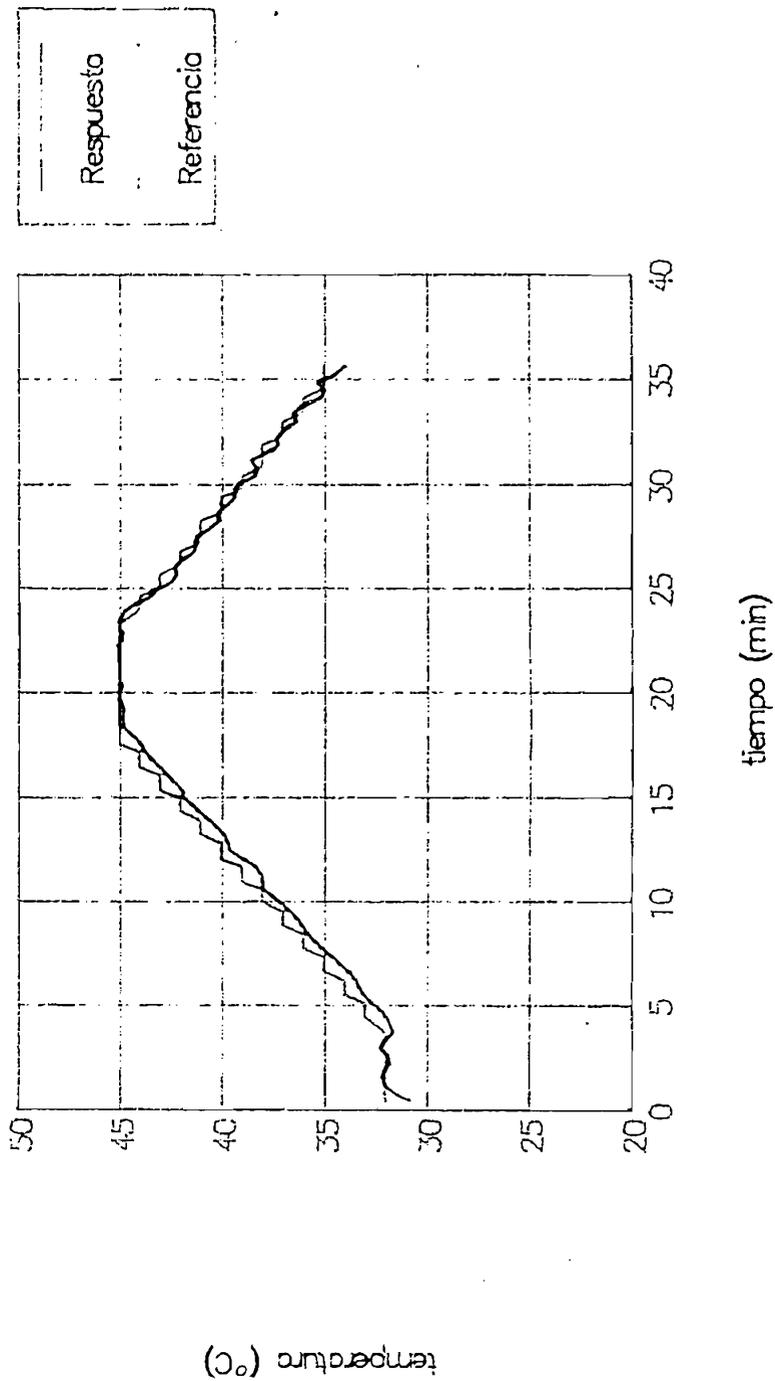


GRAFICO # 07

Ejemplo de secuencia térmica



A N E X O D

TABLA DE TEMPERATURA vs. RESISTENCIA
RTD Pt100 [9]

°C	Ohm	°C	Ohm	°C	Ohm	°C	Ohm	°C	Ohm
0	100	21	108.18	42	116.31	63	124.39	84	132.42
1	100.39	22	108.57	43	116.71	64	124.77	85	132.79
2	100.78	26	108.96	44	117.08	65	125.16	86	133.18
3	101.17	24	109.35	45	117.47	66	125.54	87	133.56
4	101.56	25	109.73	46	117.85	67	125.92	88	133.94
5	101.95	26	110.12	47	118.24	68	126.31	89	134.62
6	102.34	27	110.51	48	118.62	69	126.69	90	134.71
7	102.73	28	110.91	49	119.01	70	127.07	91	135.08
8	103.12	29	111.28	50	119.41	71	127.45	92	135.46
9	103.51	30	111.67	51	119.78	72	127.84	93	135.84
10	103.91	31	112.06	52	120.16	73	128.22	94	136.22
11	104.29	32	112.45	53	120.55	74	128.61	95	136.61
12	104.68	33	112.83	54	120.93	75	128.98	96	136.98
13	105.07	34	113.22	55	121.32	76	129.37	97	137.36
14	105.46	35	113.61	56	121.71	77	129.75	98	137.74
15	105.85	36	113.99	57	122.09	78	130.13	99	138.12
16	106.24	37	114.38	58	122.47	79	130.51	100	138.51
17	106.63	38	114.77	59	122.86	80	130.89		
18	107.02	39	115.15	60	123.24	81	131.27		
19	107.41	40	115.54	61	123.62	82	131.66		
20	107.79	41	115.93	62	124.01	83	132.04		