

**CENTRO DE INVESTIGACION CIENTIFICA Y DE
EDUCACION SUPERIOR DE ENSENADA**

TERMOGRAFO DIGITAL SUBMARINO

**T E S I S
MAESTRIA EN CIENCIAS**

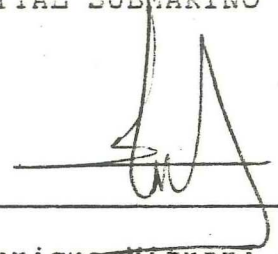
OSCAR ROBERTO LOPEZ BONILLA

Ensenada, Baja California, Abril de 1989.

RESUMEN de la tesis de: OSCAR ROBERTO LOPEZ BONILLA
presentada como requisito parcial para la obtención del
grado de MAESTRO EN CIENCIAS en FISICA APLICADA, con opción
en ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES. Ensenada, Baja
California, México, Abril de 1989.

TERMOGRAFO DIGITAL SUBMARINO

Resumen aprobado por



Dr. Enrique Mitrani Abenchuchan

Director de Tesis

Se presenta un sistema de adquisición, almacenamiento y recuperación de datos destinado al registro a largo plazo de temperatura de agua marina con una resolución de 0.01°C , una precisión de 0.1°C y capaz de almacenar 15,000 mediciones y de operar autónomamente hasta por un año.

El sistema se compone de tres subsistemas: un termógrafo autónomo, una computadora comercial tipo "IBM-PC", y un interfaz de comunicación entre éstos. La programación del primero, se desarrolló en lenguaje ensamblador, y la del segundo, en PASCAL.

El sistema desarrollado, probó ser superior, tanto en el laboratorio como en el campo de su aplicación, a uno comercial afín, en cuanto a que tiene más capacidad de almacenamiento, mayor resolución, mejor precisión y es más fácil de programar.

CENTRO DE INVESTIGACION CIENTIFICA

Y

DE EDUCACION SUPERIOR DE ENSENADA

DIVISION DE FISICA APLICADA

DEPARTAMENTO DE ELECTRONICA

Y TELECOMUNICACIONES

TERMOGRAFO DIGITAL SUBMARINO

TESIS

Que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios
para obtener el grado de MAESTRO EN CIENCIAS presenta:

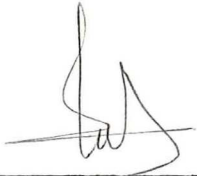
OSCAR ROBERTO LOPEZ BONILLA

Ensenada, Baja California, México.

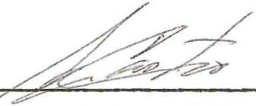
Abril de 1989

TESIS DEFENDIDA POR: OSCAR ROBERTO LOPEZ BONILLA

Y APROBADA POR EL SIGUIENTE COMITE:



Dr. Enrique Mitrani Abenchuchan, Director del Comité



M.C. Moisés Castro Delgado, Miembro del Comité



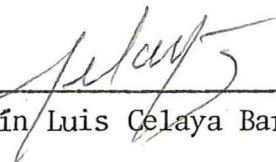
M.C. Ricardo Francisco Núñez Pérez, Miembro del Comité



Dr. Miguel Fernando Lavín Peregrina, Miembro del Comité



M.C. Moisés Castro Delgado, Jefe del Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones



Dr. Martín Luis Celaya Barragán, Director de la División de Física Aplicada



M.C. Cuauhtémoc Nava Button, Director Académico

Abril 24 de 1989

DEDICATORIA

A mis padres

Celia

y

Luis

A mis hermanos

Luis, Soledad, Juana,

Alejandrina, Belen e Israel

Y muy especialmente a

Roman

AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis Dr. Enrique Mitrani A.,
quien fue mi guía en el desarrollo del presente
trabajo.

A los miembros de mi comité de Tesis:

Dr. Miguel Lavín P.

M. C. Moisés Catro D.

M. C. Ricardo Núñez P.

Deseo agradecer a Benjamín Pérez E. y Ricardo Solís A.
su activa participación en el desarrollo de este proyecto y
las innumerables horas que le dedicaron.

Al M. C. Alberto Amador por su ayuda y dirección
durante el inicio de este proyecto.

Agradezco También el apoyo recibido por la división de
Oceanología durante el desarrollo de este trabajo.

CONTENIDO



I	INTRODUCCION	1
II	DESCRIPCION GENERAL	3
II.1	Circuitería	4
II.2	Principio de operación	7
II.3	Programación	8
II.4	Características y especificaciones	11
III	DESCRIPCION DE LOS DIFERENTES MODULOS	13
III.1	Módulo A	13
III.1.1	Introducción	13
III.1.2	Adquisición de temperatura	13
III.1.3	Reloj de tiempo real	18
III.1.4	Puerto de estado	19
III.2	Módulo B	19
III.2.1	Introducción	19
III.2.2	Fuentes de alimentación	20
III.2.3	Microprocesador	21
III.2.4	Memoria de datos	22
III.2.5	Circuitería de inicio	24
III.3	Módulo C	26
III.3.1	Introducción	26
III.3.2	Interfaz de comunicación	26

CONTENIDO (Continuación)

	<u>Página</u>
III.3.3 Medidor de batería	27
III.3.4 Fuentes de alimentación	29
III.4 Intercomunicación de módulos	30
 IV PROGRAMACION	 32
IV.1 Introduucción	32
IV.2 Programa del termógrafo	32
IV.2.1 Rutina de adquisición	33
IV.2.2 Lazo de intercomunicación	36
IV.3 Mandos del termógrafo	36
IV.4 Programa de intercomunicación	47
 V CALIBRACION Y PRUEBA DE CAMPO	 56
V.1 Calibración	56
V.2 Prueba de campo	63
 VI CONCLUSIONES	 67
 LITERATURA CITADA	 69
 APENDICE 1: Diagramas electrónicos	

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura</u>	<u>Página</u>
1 Diagrama general de bloques	5
2 Secuencia de inicialización	25
3 Inicio del programa del termógrafo	33
4 Rutina de adquisición	34
5 Lazo de intercomunicación	35
6 Nivel de batería	37
7 Prueba de memoria de lectura exclusiva	38
8 Descarga de muestras	39
9 Fecha y hora internas	40
10 Identificación del termógrafo	41
11 Prueba de memoria de lectura/escritura	43
12 Actualización de parámetros de operación	45
13 Actualización de fecha y hora internas	46
14 Lectura de la temperatura actual	47
15 Inicialización del termógrafo	49
16 Extrae los datos	51
17 Prueba general del termógrafo	53
18 Actualización de la hora interna	55
19 Lecturas del termógrafo respecto del HP	57
20 Medición del termógrafo respecto del HP	58
21 Diferencias del termógrafo CICESE y del HP	59
22 Medición del RYAN respecto del HP	60

LISTA DE FIGURAS (Continuación)

<u>Figura</u>		<u>Página</u>
23	Error del RYAN respecto del HP	61
24	Experimento con el termógrafo RYAN	63
25	Experimento con el termógrafo CICESE	64
26	Diferencias entre el experimento del RYAN y el del CICESE	65

LISTA DE TABLAS

<u>Tabla</u>	<u>Página</u>
I Mapa de memoria	21
II Mapa de puertos	22
III Localidades usadas por el programa	23
IV Conexiones de módulos A y B	31
V Conexiones de módulos B y C	31
VI Comparación del termógrafo CICESE vs termógrafo RYAN	66

TERMOGRAFO DIGITAL SUBMARINO

I INTRODUCCION

El presente trabajo nació de la necesidad manifestada por el Departamento de Oceanografía del CICESE de construir un instrumento para medir temperatura del mar. El Termógrafo Digital Submarino reúne ciertas características, algunas de ellas no disponibles en los instrumentos comerciales afines: bajo costo, totalmente programable, alcance de mediciones enfocado a las necesidades de la institución, gran autonomía, dimensiones reducidas y tecnología propia.

El instrumento fue diseñado para medir la temperatura bajo el agua, en medios ambientes naturales. Las posibles aplicaciones son multiples; en oceanografía, meteorología, ecología marina, terrestre, agricultura, industria, etc. Particularizando al uso que motivó este trabajo, el termógrafo será usado, en el estudio de las variaciones de la temperatura superficial y subsuperficial, como indicadores de fenómenos oceanográficos de escalas tanto cortas (horas, días, semanas), como largas (meses, años). También se usará en estudios de intercambio de calor entre la atmósfera y el océano. En ecología marina, actualmente los termógrafos son usados, para la comparación de situaciones ambientales para

correlacionar comportamientos de crecimiento, y eficiencia nutricional, para la relación de las principales variables medio-ambientales con la producción de las plantas.

Los instrumentos comerciales afines al nuestro utilizan diferentes técnicas de medición y almacenamiento (Ryan Instruments Inc, General Oceanics Inc, etc.). Dentro de las cuales las más utilizadas son las que emplean un termistor como sensor, y para almacenamiento, utilizan dispositivos de estado sólido.

En el capítulo II se describe el funcionamiento del sistema en conjunto, principio de operación y programación; el capítulo III explica los circuitos que constituyen los módulos A, B y C; el capítulo IV describe los programas desarrollados en ensamblador y en Pascal; en el capítulo V se muestran los resultados obtenidos en la calibración y prueba de campo; finalmente el capítulo VI muestra las conclusiones y los planes futuros.

Con el fin de que esta documentación no resulte muy voluminosa, los listados completos de los programas se incluyen en un tomo aparte.

II DESCRIPCION GENERAL

Este termógrafo se diseñó tratando de sustituir específicamente uno de los termógrafos comerciales utilizados en el CICESE y cuyas características [Ryan Instrument, 1985] son los topes mínimos esperados para este trabajo. Dichas características son las siguientes:

- Almacenamiento de datos en memoria de estado sólido.
- Capacidad de almacenar hasta un mes de muestreo en intervalos de cinco minutos (8,900 mediciones).
- Bajo consumo de potencia, tal que posibilite trabajar en forma autónoma hasta por un año.
- Programable, con intervalos de muestreo desde cinco minutos hasta dos horas.
- Dimensiones reducidas.
- Capacidad de funcionamiento dentro del siguiente alcance con la exactitud y resolución que se especifica:

- | | |
|-------------|--------------|
| -Alcance | 0 °C - 40 °C |
| -Exactitud | ± 0.3 °C |
| -Resolución | 0.1 °C |

II.1 CIRCUITERIA

El instrumento es básicamente un sistema de adquisición de datos, monocanal, que se conforma de 7 circuitos principales, divididos en tres módulos como lo ilustra la figura 1. La razón de dividirlo en tres módulos (A, B y C) es la de cumplir con el requisito de dimensiones reducidas. El módulo C incluye toda la circuitería que no se necesita para la función básica de recolección de datos de temperatura en el mar. El resto de la circuitería se dividió a su vez en los módulos A y B. Estos dos módulos van montados uno sobre el otro a manera de emparedado, comunicados por los extremos con conectores en línea.

A continuación se describen brevemente distintos elementos de estos módulos.

FUENTE DE ALIMENTACION

La fuente de alimentación consta de dos reguladores de tensión de bajo consumo, con posibilidad de apagarse digitalmente (ICL7663 Intersil), uno a 5 voltios y el otro a 3 voltios, y de un selector de tensión (ICL7673 Intersil) que, junto con los primeros proporciona dos líneas de alimentación, una de 5 voltios y otra de 5 ó 3 voltios dependiendo de si se está en operación o en reposo respectivamente.

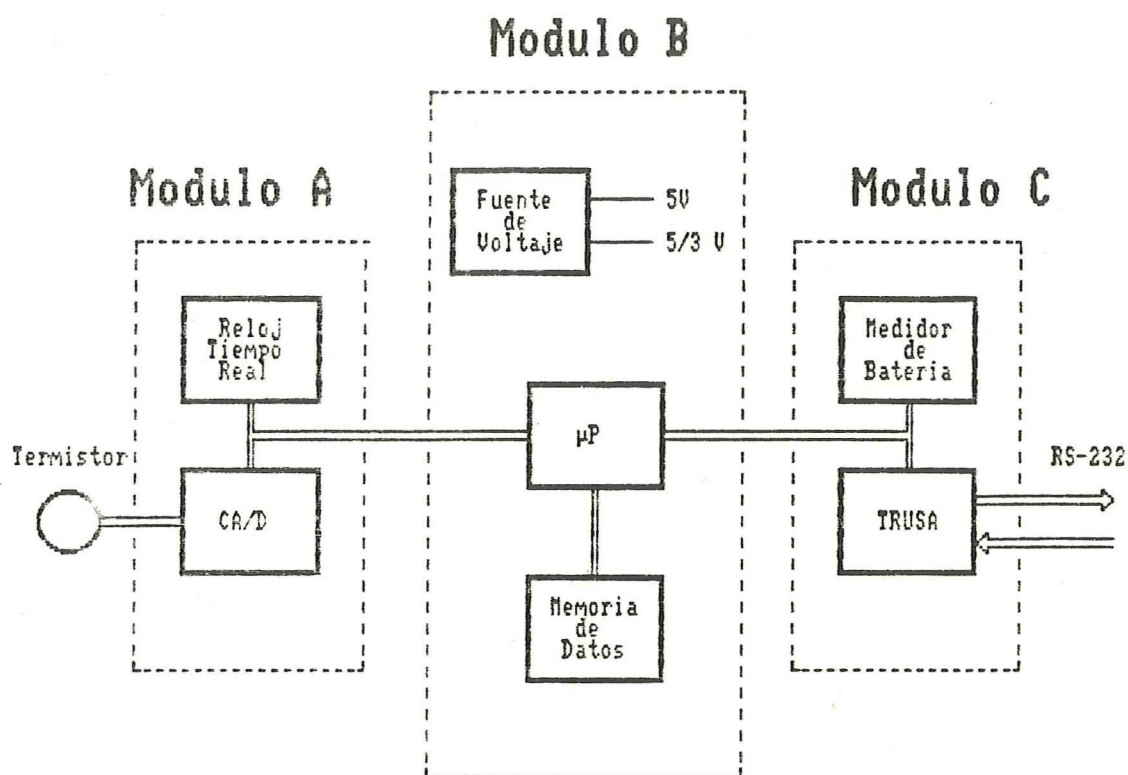


Figura 1. Diagrama general de bloques

LA COMUNICACION CON EL USUARIO

Se efectúa por medio de un TRUSA (Transmisor Receptor Universal Sincrono Asíncrono), que se conecta a una computadora personal por medio de su puerto serie, de un oscilador con cristal y de acopladores de niveles TTL a RS-232C.

LA MICROCOMPUTADORA

Para controlar todo el proceso se eligió un sistema basado en el microprocesador 80C88 [Harris, 1986] con: 8

Kilooctetos de memoria de lectura exclusiva, multicanalizador de datos y direcciones, selectores para memoria y puertos y circuitería de reloj e inicio.

LA MEMORIA MASIVA

Es de 32 Kilooctetos con circuitería de respaldo y para prevenir escrituras durante el reposo.

EL CONVERTIDOR ANALOGICO DIGITAL

Para obtener resoluciones de hasta 0.01°C en un intervalo de 0°C a 40°C se necesita un convertidor analógico a digital de 12 bits que además debe tener bastante precisión, el convertidor seleccionado es el circuito integrado ICL7109 [Intersil, 1986] de doble rampa de integración, 12 bits más signo, con referencia de tensión y oscilador integrado, que junto con el sensor en configuración de puente de Wheatstone proporcionan una medición independiente de la diferencia de temperatura del sensor con el resto de la circuitería.

EL TEMPORIZADOR

Para tener un intervalo de muestreo variable, es necesario contar con un temporizador capaz de generar interrupciones programables. El circuito seleccionado con su circuitería adjunta para esta función, es el reloj de tiempo real ICM7170 [Intersil1986] que opera con cristal de 32.768 KHz, con capacidad de generar interrupciones programables en año, mes, día, hora y minuto que, junto con otra circuitería, activa a todo el sistema. Este circuito permite programar el inicio de operación del aparato en año, mes, día, hora y minuto en el laboratorio.

Este reloj cuenta con su propia batería de respaldo.

EL MEDIDOR DE BATERIA

Consiste en el convertidor analógico digital ADC0803 [National, 1982] de 8 bits que da una lectura entre 0 y 255 relacionada linealmente a la tensión de la batería cuando se encuentra entre 6 y 9 voltios , respectivamente.

II.2 PRINCIPIO DE OPERACION

La interconexión de los módulos anteriormente descritos, que en su conjunto conforman el termógrafo, se muestra en el

diagrama de cuadros de la figura 1. La energía del sistema la proporciona una batería comercial de 9 voltios, que alimenta directamente los reguladores de tensión. A grandes rasgos, el sistema funciona como sigue: al generarse una interrupción proveniente del temporizador o de la interfaz de comunicación, se activan la señal de encendido del regulador de 5 voltios y el oscilador del microprocesador. Con esto se genera el reinicio general (RESET), se activa la línea E/A (Encendido/Apagado), que autoriza la entrada y salida a la memoria y a los puertos, y el microprocesador inicia operaciones.

En la rutina de inicio, el microprocesador investiga si se encuentra conectada la interfaz de comunicación; si es así, realiza la subrutina de atención a la comunicación que se describe en II.3, y si no, efectúa la subrutina normal de adquisición y almacenamiento del dato de temperatura, programa la próxima interrupción y el apagado general.

II.3 PROGRAMACION

La programación del microprocesador se divide en dos partes, la destinada al manejo del módulo de intercomunicación y la encargada de la adquisición y el almacenamiento de la información. Esta última, además de su función principal, se encarga de calcular la próxima

interrupción con base en el intervalo de muestreo programado. Una vez calculada, verifica que no sea posterior a la fecha que tiene como límite de operación. También verifica que el número de muestreos no exceda su capacidad; en caso de no cumplirse cualquiera de estas dos condiciones, el programa pone en reposo al termógrafo por tiempo indefinido, en caso contrario programa su próxima interrupción y apaga todo el sistema.

Cuando el microprocesador se encuentra conectado al módulo de intercomunicación, lo primero que hace es investigar a que velocidad de transmisión desea el usuario operar y programa el TRUSA (Transmisor Receptor Universal Síncrono Asíncrono). Posteriormente entra en un lazo de espera donde pueden ocurrir dos cosas: que se reciba un carácter o que se desconecte el módulo de intercomunicación. En el primer caso procede a interpretar el carácter recibido y a atenderlo de la siguiente manera:

Si carácter	Entonces mando
G	Descarga los datos del termógrafo.
I	Descarga identificación del termógrafo.
P	Recibe parámetros de programación.
H	Descarga año, mes, día, hora, minutos y segundos del reloj tiempo real.

Si carácter	Entonces mando
R	Recibe año, mes, día, hora y minutos para actualizar el reloj tiempo real.
M	Inicia prueba de memoria de lectura/escritura y envía el resultado.
E	Inicia prueba de memoria de lectura exclusiva y envía resultado.
T	Adquiere temperatura y la transmite.
B	Adquiere nivel de batería y lo transmite.

En caso de no reconocer el carácter recibido, transmite señal de error.

La programación para establecer la comunicación entre el usuario y el termógrafo se desarrolló en Pascal. Este programa cuenta con cuatro mandos que son:

Mando	Descripción
O	Extrae muestreo del termógrafo.
I	Inicializa el termógrafo.
P	Prueba general del termógrafo.
R	Actualiza reloj en tiempo real.

Cada uno de los mandos anteriores con sus respectivos argumentos se explican con más detalle en el capítulo de PROGRAMACION.

Una vez que el termógrafo ha sido programado, se desenergiza y desconecta del módulo de intercomunicación, el cual espera hasta la fecha programada de inicio para empezar a operar.

II.4 CARACTERISTICAS Y ESPECIFICACIONES

Entre las características más relevantes del termógrafo, se pueden enumerar las siguientes:

- Es totalmente programable
- Está alimentado con batería comercial de 9 voltios
- Tiene almacenamiento de datos en memoria de estado sólido
- Tiene comunicación externa a través de un puerto serie RS-232C
- Es de bajo costo

Y con las siguientes especificaciones:

Sensor	arreglo lineal de termistores
Dispositivo	YSI44202
Alcance	0°C - 40°C
Resolución	0.01°C
Exactitud	mejor que 0.1°C

CONVERTIDOR ANALOGICO DIGITAL

Dispositivo	ICL7109
Resolución	12 bits más signo
Exactitud	± 1 cuenta
Tiempo de conversión	1/12 seg.

ALMACENAMIENTO DE DATOS

Medio	Memoria de estado sólido
Dispositivo	55257 (Toshiba)
Capacidad	32 Kiloctetos
Núm. max. de muestras	15,000

PROGRAMACION

Fecha de inicio	Año, mes, día, hora y minutos
Fecha de fin	Año, mes, día, hora y minutos
Intervalo	desde 1 minuto hasta 2 horas con resolución de minutos

ENERGIA

Medio	Batería comercial de 9 voltios Batería de respaldo de litio de 3 voltios
-------	--

CONSUMO

En funcionamiento	12 mA @ 25°C (típico)
En reposo	18 μ A @ 25°C (típico)

III DESCRIPCION DE LOS DIFERENTES MODULOS

III.1 MODULO A

III.1.1 INTRODUCCION

En este módulo se incluyen el sensor, en configuración tipo puente de Wheatstone conectado al convertidor analógico digital, el reloj de tiempo real y un puerto de entrada de 4 bits para señales que interesan al microprocesador. A continuación se describe su funcionamiento con referencia al diagrama 1 del apéndice 1.

III.1.2 ADQUISICION DE TEMPERATURA

En la adquisición de temperatura se pueden utilizar diferentes tipos de sensores. Entre los más comunes se encuentran el termopar, la termoresistencia y el termistor [Omega,1988].

Los primeros se basan en el principio de que el número de electrones libres en un metal, depende de su temperatura y de su composición. Así, dos piezas de metal diferente en contacto isotérmico, presentan una diferencia de potencial que es función de la temperatura (efecto termoeléctrico). La desventaja de estos sensores, es que cada unión de dos

metales diferentes, constituirá un termopar, y por lo tanto, las mediciones con dichos dispositivos deben ser tales que minimicen la contribución no deseada de los termopares incidentales indeseables.

Las termoresistencias se basan en que la resistividad de los metales, muestran una marcada dependencia de la temperatura. El metal más usado por tener mayor cambio con la temperatura, es el platino.

El platino es especialmente conveniente para este propósito, ya que puede soportar temperaturas altas manteniendo excelente estabilidad. Como metal noble, muestra limitada susceptibilidad a contaminarse.

Los valores más comunes de las termoresistencias de platino, van desde 10 ohms, hasta algunos miles de ohms. El valor más común es el de 100 ohms a 0°C.

Sin embargo, son caros, y por tener valores de resistencia relativamente pequeños (comparados con los termistores), los incrementos son también pequeños, por lo que no es fácil obtener mucha resolución. Además presentan problemas de autocalentamiento por los mismos valores pequeños de resistencia.

Los termistores son sensores formados de material semiconductor caracterizado por un alto coeficiente de

resistividad negativa. A cualquier temperatura un termistor actúa como un resistor; si la temperatura cambia debido a disposiciones internas o debido a cambios en la temperatura ambiente, la resistencia cambia como función exponencial de la temperatura. Las características de este tipo de sensor: muy sensible, rápido en respuesta, buena precisión, etc., son adecuadas para este instrumento.

Para nuestro instrumento se adquirieron y probaron los siguientes termistores: YSI44030, YSI44005 y YSI44202. Con éstos se armaron diferentes configuraciones y se efectuaron barridos de temperatura para determinar cual de ellos se ajustaba con más exactitud a un comportamiento predecible. Se seleccionó el YSI44202, por constar de un arreglo lineal de dos termistores y dos resistencias para lograr una relación temperatura-tensión aproximadamente lineal. Dicha relación se puede aproximar a la siguiente expresión [Yellow Spring Instrument, Inc., 1986]:

$$V_T = (+0.0056846 * E_{IN}) * T + 0.194142 * E_{IN} \quad (1)$$

donde:

E_{IN} : Tensión de alimentación (en este caso 2.8v)

T : Temperatura ($^{\circ}C$)

V_T : Tensión de salida

Como se aprecia en el diagrama 1 del apéndice, hay dos potenciómetros de ajuste. El primero (POT1) proporciona una señal diferencial con respecto al sensor; la tensión cuando la temperatura es de cero grados es

$$VT(0^{\circ}\text{C}) = (+0.0056846 * 2.8) * 0 + 0.194142 * 2.8 = 543.598 \text{ mV} \quad (2)$$

Al ajustar el POT1 a este valor, el puente proporcionará 0 voltios en forma diferencial. Cabe señalar que la entrada al CA/D es de alta impedancia.

Por otra parte, cuando el sensor se encuentra a 40°C , el puente de Wheatstone proporcionará en forma diferencial

$$VT(40^{\circ}\text{C}) = 0.0056846 * 2.8 * 40 + 0.194142 * 2.8 = 770.982 \text{ mV} \quad (3)$$

$$VDIF = 770.982 \text{ mV} - 543.598 \text{ mV} = 227.384 \text{ mV} \quad (4)$$

Con el objeto de tener como alcance del convertidor analógico a digital los valores de tensión diferencial cuando el sensor se encuentra entre 0°C y 40°C , se ajusta el POT2, el cual da la referencia de tensión a un medio del valor diferencial máximo, es decir :

$$VPOT2 = 227.38 \text{ mV} / 2 = 113.69 \text{ mV}. \quad (5)$$

La referencia de tensión del CA/D de 2.8 voltios, con un coeficiente de temperatura de ± 80 ppm, es capaz de proporcionar hasta 20 mA sin variación significativa en su nivel de tensión según lo especifica el fabricante. Esta

referencia, con respecto a la tensión positiva, es la misma que alimenta al puente de Wheatstone, de tal manera que sus posibles variaciones no afectan las mediciones (modo común). Además las tensiones que proporcionan los potenciómetros son independientes de las variaciones de su valor resistivo.

El convertidor analógico digital ICL7109 [Intersil, 1986], dispone de un oscilador interno y funciona por el método de integración de doble rampa, de tal manera que las variaciones en el largo plazo en los valores de los elementos del oscilador no se ven reflejadas en las conversiones. El convertidor usa una tensión de - 5 voltios, que genera el circuito ICL7660 [Intersil, 1986].

Su conexión con el resto del termógrafo se facilita por ser compatible con el microprocesador. Su lectura se divide en dos octetos, uno contiene la parte baja (8 bits menos significativos) de la lectura y otro contiene la parte alta (4 bits más significativos) más los bits para polaridad y desbordamiento. Estos dos octetos se mantienen en alta impedancia y sólo se activan cuando se direcciona alguno de ellos. La señal de fin de conversión llega al puerto de estado que se menciona más adelante.

III.1.3 RELOJ TIEMPO REAL

El reloj ICM7170 de Intersil, genera su propio oscilador con ayuda de un cristal de cuarzo de 32.768 KHz. Es totalmente compatible con microprocesador y tiene la posibilidad de ser respaldado por batería.

Tiene contadores para centésimas de segundos (0-99), segundos (0-59), minutos (0-59), horas (0-23), días(1-31), meses (1-12) y años (0-99), además de corregir los años bisiestos. Cuenta con la posibilidad de generar interrupciones ya sea cada centésima o cada décima de segundo, segundo, minuto, hora, día, mes, año, o también para una fecha especial especificada en año, mes, día, hora, minuto, segundo y centésimas de segundo.

La salida de la señal de interrupción es de colector abierto, y es la que genera la cadencia de inicio de un nuevo ciclo de obtención de temperatura. Esta señal se reinicia (desactiva) al leerse el registro de interrupciones del reloj, lo cual hace que las fuentes se apaguen nuevamente. Es así como el microprocesador apaga el sistema después de haber hecho la rutina respectiva.

III.1.4 PUERTO DE ESTADO

El puerto de estado consta de cuatro reforzadores con salida de tres estados (74HC126) y proporciona cuatro señales importantes:

bit	función	0	1
D0	Fin de adquisición de batería	si	no
D1	Velocidad de transmisión	2400	9600
D2	Presencia de intercomunicación	si	no
D3	Fin de adquisición de temperatura	si	no

Cualquier escritura en este puerto inicia el proceso de adquisición de temperatura.

III.2 MODULO B

III.2.1 INTRODUCCION

Este módulo contiene las fuentes de alimentación, el microprocesador con su multicanalizador de datos y direcciones, selectores de memoria y puertos así como memoria del programa y memoria de datos. Parte de este módulo es respaldado con la batería de 3 voltios durante el reposo. Este módulo se ilustra en el diagrama 2 del apéndice 1, al cual se referirá esta sección.

III.2.2 FUENTES DE ALIMENTACION

Las fuentes de alimentación controlan dos líneas de tensión que cambian su valor, según que el instrumento se encuentre en operación o en reposo. Se componen de tres circuitos integrados: dos ICL7663 y un ICL7673 de Intersil.

El ICL7663 es un regulador de bajo consumo con capacidad de desactivarse mediante una señal digital, mientras que el ICL7673 es un selector de tensión que permite seleccionar la tensión más alta que le llegue de las dos que acepta. De esta forma, cuando se apaga el regulador de 5 voltios la salida se conecta al regulador de 3 voltios. Esta línea es la que alimenta a los circuitos que se desea respaldar: Memoria de datos y circuitos que generan las señales de reinicio. El resto de la circuitería se desactiva durante el reposo.

Los reguladores U6 y U7 se alimentan directamente de la batería de 9 voltios. La forma de fijar su tensión de salida es mediante dos resistencias que cumplen con la siguiente relación [Intersil, 1986]:

$$VSAL = (R2 + R1) * VSET / R1 \quad (6)$$

donde: R1, R2 resistencias para fijar tensión
 VSET tensión de referencia (1.3
 voltios)
 VSAL tensión de salida

El selector de tensión U15 proporciona, además, una línea que digitalmente informa de la fuente que se está seleccionando (SBAR). Esta señal es utilizada por la circuitería de reinicio, como se observará más adelante.

III.2.3 MICROPROCESADOR

De los diferentes microprocesadores que se evaluaron, se encontró que el que menos consumo tenía en estado de invernación (sin trabajar y con 3 voltios de alimentación), es el 80C88. Aunque en el sistema final no se usa este estado, se mantuvo la selección para tener más facilidades en futuras modificaciones o mejoras del termógrafo.

El microprocesador 80C88 es de bajo consumo y de fácil programación. Bajo su supervisión se ejecutan las diferentes tareas de control. Cuenta con una memoria de lectura exclusiva de 8 Kiloctetos, multicanalizador para separar datos de direcciones, tiene dos selectores, uno para memoria y otro para puertos. La tabla 1 muestra el mapa de memoria mientras que la tabla 2 muestra el mapa de puertos.

Tabla I. Mapa de memoria

Memoria	Dirección de inicio	Dirección de fin
Lectura exclusiva	0C000H	0DFFFH
Lectura / Escritura	10000H	17FFFH

Tabla II. Mapa de puertos

Puerto	Dirección	Descripción
RelojAct	00H	Contador de centésimas de segundo segundo (0-99), al leerse se actualizan los demás registros de los contadores
RelojHor	01H	Contador de horas (0-23)
RelojMin	02H	Contador de minutos (0-59)
RelojSeg	03H	Contador de segundos (0-59)
RelojMes	04H	Contador de meses (1-12)
RelojDía	05H	Contador de días (1-31)
RelojAño	06H	Contador de años (0-99)
AlarmCen	08H	Registro de alarma para centésimas de segundo (0-99)
AlarmHor	09H	Registro de alarma para horas (0-23)
AlarmMin	08H	Registro de alarma para minutos (0-59)
AlarmSeg	09H	Registro de alarma para segundos (0-59)
AlarmMes	08H	Registro de alarma para meses (1-12)
AlarmDía	09H	Registro de alarma para días (1-31)
AlarmAño	08H	Registro de alarma para años (0-99)
AlarmSem	09H	Registro de alarma para día de la semana (1-7)
RelojInt	10H	Registro de interrupciones y de estado
RelojMan	11H	Registro de mando del formato
TempBaja	21H	Parte baja de la lectura de temperatura
TempAlta	22H	Parte alta de la lectura de temperatura
Estado	40H	Líneas varias de estado del sistema
TRUSAD	60H	Escritura/Lectura de caracteres Transmitidos/Recibidos
TRUSAC	61H	Registro de mando y estado de comunicación
Batería	80H	Lectura de nivel de batería

III.2.4 MEMORIA DE DATOS

En una memoria 55257 de TOSHIBA se lleva a cabo el almacenamiento de las mediciones recolectadas y algunas otras variables importantes para el termógrafo. Esta memoria, es

Tabla III. Localidades usadas por el programa

Etiqueta	Número de octetos	Descripción
Datos	30,000	Espacio para las lecturas obtenidas
Encabeza	305	Encabezado del experimento
AñoDeIni	1	Fecha y hora de inicio del experimento
MesDeIni	1	
DíaDeIni	1	
HorDeIni	1	
MinDeIni	1	
AñoDeFin	1	Fecha y hora de fin del experimento
MesDeFin	1	
DíaDeFin	1	
HorDeFin	1	
MinDeFin	1	
HorInter	1	Intervalo entre muestras
MinInter	1	
NumDeLec	2	Número de lecturas hasta el momento
Recupera	1	Bandera de datos recuperados
Error	1	Bandera de error transmitido
FinDeAdq	1	Tiempo en el que hay fin de adquisición
ProxHor	1	Hora de próximo muestreo
ProxMin	1	
Suma	1	Registro de suma para formato Intel
NumDeBlo	2	Número de bloques transmitidos
LocDeBlo	2	Localización de bloque por transferir
NumDeTra	2	Número de caracteres transmitidos
NumDeCar	1	Número de caracteres transferidos
BloTrans	320	Espacio de bloque de transferencia

CMOS y está ordenada en 32,768 palabras de 8 bits. Durante el reposo la memoria es respaldada por la batería a un nivel de tensión de 3 voltios, lo cual, de acuerdo a sus especificaciones, es suficiente para mantener los datos en memoria sin alteración. Se usa circuitería de protección para evitar que sea seleccionada durante los diferentes estados de reposo, encendido y apagado del termógrafo.

La tabla 3 ilustra la distribución de las localidades de memoria que utiliza el programa del termógrafo.

III.2.5 CIRCUITERIA DE INICIO

La circuitería de inicio es la encargada de 'despertar' al sistema. Para esto, hace uso de dos señales, INT y SBAR. La señal INT puede ser generada por el reloj en tiempo real, indicando que es tiempo de efectuar una nueva adquisición, o por la interfaz de comunicación, indicando la necesidad de atención al usuario.

La señal SBAR indica la conmutación de la fuente de 3 voltios a la fuente de 5 voltios. Debido a que el nivel de tensión no cambia en forma instantánea, es necesario un tiempo de espera, para asegurar que el nivel de la fuente de alimentación y los circuitos estén estables por completo. Esto se logra con los circuitos U12, U8 y U17 del diagrama 2. La secuencia de las señales se ilustra en la figura 2, donde las señales de salida son E/A, E/A OSC y RESET. La señal E/A OSC es la que autoriza al oscilador del microprocesador. Este oscilador debe estar funcionando cuando se termine el pulso de reinicio (RESET). La señal E/A, es la que permite bloquear el acceso a la memoria y a los puertos durante los tiempos de reposo. El reinicio (RESET) hace que el microprocesador corra el programa desde el principio. Todo el sistema de inicio esta respaldado durante la etapa de reposo,

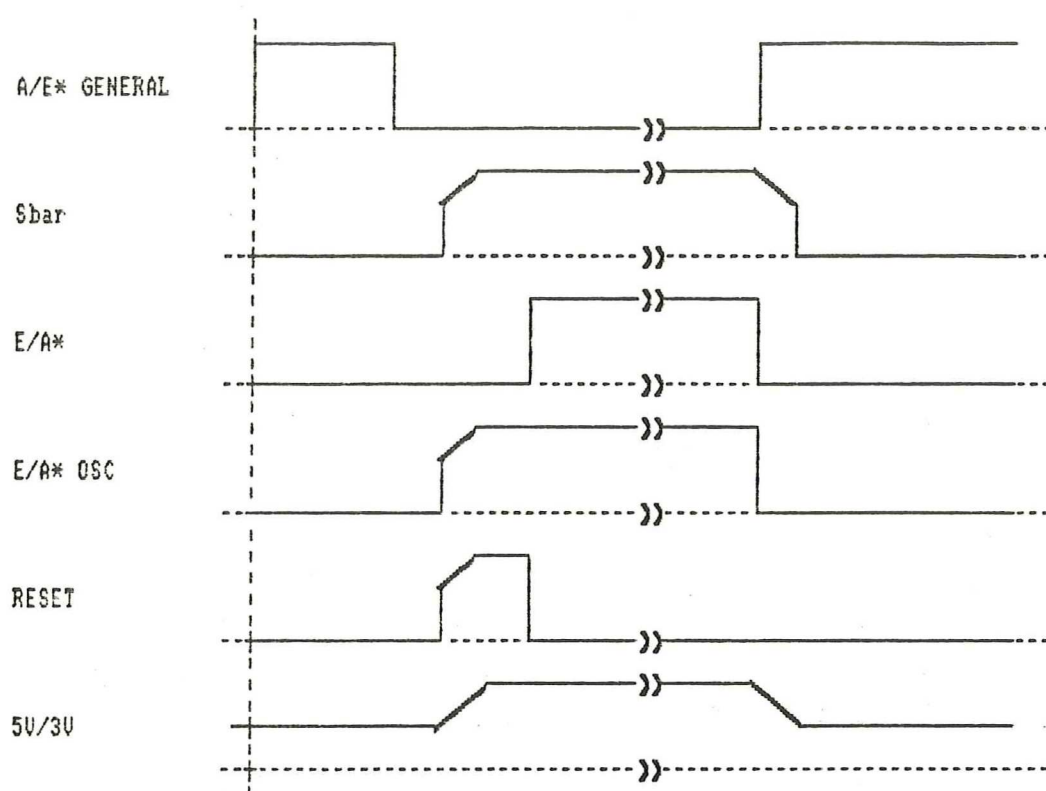


Figura 2. Secuencia de inicialización

puesto que es el guardián, junto con el reloj de tiempo real, que hace posible la operación encendiéndose y apagándose para ahorrar el máximo posible de energía.

Otro circuito que forma parte de este bloque, es el oscilador del microprocesador. Este circuito tiene la posibilidad de suspender la oscilación por medio de la señal E/A OSC, evitando que el microprocesador tenga acceso sin autorización. Para un funcionamiento óptimo, este circuito genera una frecuencia de poco menos de 2 MHz, con un ciclo de trabajo de 33%, como lo especifica el manual del microprocesador [Harris, 1986].

III.3 MODULO C

III.3.1 INTRODUCCION

En este módulo están las partes que no son necesarias para el proceso de adquisición y almacenamiento de temperatura, para ahorrar energía y espacio. Las partes que no son necesarias durante el proceso de adquisición de temperatura son la interfaz de comunicación y el circuito medidor de batería. Este módulo tiene su propia fuente de tensión para no representar carga a la batería del termógrafo durante el tiempo que éste se está comunicado. La descripción de este módulo se hace refiriéndose al diagrama 3 del apéndice 1.

Este módulo tiene un circuito que evita que se seleccione algún dispositivo cuando no está autorizado por la línea E/A*. Dicho módulo está contenido en una caja que tiene tres interruptores, un cable para conectarse a la línea y dos conectores en la parte posterior: uno para comunicarse con el termógrafo y el otro para el RS-232C.

III.3.2 INTERFAZ DE COMUNICACION

Consta de un Transmisor Receptor Universal Síncrono Asíncrono (TRUSA), de un oscilador con cristal de cuarzo de

1.8432 MHz, de un divisor de frecuencia entre 12 y de circuitos acopladores de niveles TTL a niveles RS-232C.

El TRUSA se configura para operar en forma asíncrona y en el siguiente formato:

Número de bits	8
Bits de paro	1
Velocidad	2400 ó 9600
Paridad	Par

Uno de los conmutadores de la carátula, sirve para seleccionar la velocidad de transmisión (2400 ó 9600). El microprocesador detecta la posición de este conmutador por medio del puerto de estado.

El TRUSA maneja las líneas RTS y DTR y recibe las líneas CTS y DSR. En caso de no estar activa la línea CTS, el termógrafo no transmitirá, con lo que establece un protocolo completo y da mayor seguridad a la transmisión. Por lo tanto, es necesario que el programa de comunicación de la computadora personal maneje dichas líneas.

III.3.3 MEDIDOR DE BATERIA

Para determinar el nivel de energía remanente en la batería, no son necesarios gran precisión ni rapidez. Por

esta razón se eligió un convertidor que fuera de bajo consumo y que además diera la facilidad de conectarse sin problema al microprocesador; v. g. el ADC0803 de National, que, además de lo anterior, posee un oscilador interconstruido. Este convertidor trabaja por el método de aproximaciones sucesivas, y por estar fabricado en tecnología CMOS, es de bajo consumo y compatible con el resto de la circuitería del termógrafo. La tensión de batería es indicador casi directo de su energía remanente.

La configuración del convertidor se ilustra en el diagrama 3 del apéndice 1; su descripción es la siguiente:

La línea proveniente de la batería se refuerza con un amplificador operacional (LM358), para presentarle alta impedancia, la tensión se divide entre 3 para ajustar el nivel a variaciones de 2 a 3 voltios.

La referencia de tensión que ocupa el convertidor, es tomada de la línea de alimentación (5 voltios), dividida entre 10 y reforzada por un amplificador operacional (LM358); de esta manera, la escala completa de conversión, es de 1 voltio.

Por último, para medir variaciones en el nivel de batería de 2 a 3 voltios, se configura el convertidor para medir tensión en forma diferencial y se utiliza un divisor de

tensión para proporcionar 2 voltios. Así la lectura del convertidor es:

$$N = \frac{VB - VD}{2 * VR} (255) = \frac{VB - 2}{1} (255) = (VB - 2) * 255 \quad (7)$$

donde :

N : Lectura de energía remanente

VB : Tensión del divisor de batería

(2 a 3 voltios)

VD : Tensión del divisor (2 voltios)

VR : Tensión de la referencia (0.5 voltios)

El resultado final es que al leer el convertidor, dará una lectura de 0 a 255 cuando los niveles sean de 2 a 3 voltios.

Como se observa en el diagrama 3 del apéndice 1, los divisores de tensión son, además, filtros para eliminar el ruido que generan los osciladores de este módulo.

III.3.4 FUENTES DE ALIMENTACION

El módulo C se alimenta de la corriente de línea. Mediante un transformador y un puente rectificador, proporciona tensiones de ± 18 voltios. La fuente se compone de 2 reguladores de tensión: uno de 5 voltios para todos los circuitos que operan con niveles TTL, y el otro, de ± 12

voltios que alimenta los acopladores de niveles TTL a RS-232C (U23 y U24) y el amplificador operacional (U18).

Este módulo, utiliza uno de los conmutadores de dos polos dos tiros, para conectar la señal de línea al transformador con un testigo luminoso, para indicar cuando está funcionando.

El último conmutador, que se menciona en este módulo, activa la línea INT y "despierta" al termógrafo. Cuando el termógrafo despierta y determina que está conectado a la interfaz de comunicación, efectúa la rutina de atención al usuario, comenzando por programar el TRUSA de acuerdo a la velocidad de transmisión seleccionada.

A continuación se enumeran los pasos necesarios para comunicarse con el termógrafo.

- 1- Conéctese el módulo de intercomunicación al termógrafo
- 2- Selecciónese la velocidad de transmisión (SW2)
- 3- Enciendase el módulo de intercomunicación (SW3)
- 4- Genérese la interrupción del termógrafo (SW1)
- 5- Córrese el programa de computadora personal

III.4 INTERCONEXION DE MODULOS

Para interconectar los módulos entre sí, se usan dos tipos de conectores. J1, J2 y J3 que comunican a los módulos

A y B, son conectores para cinta de 10, 3 y 9 líneas respectivamente, J4 es un conector DB-25 entre los módulos B y C.

En las Tablas 4 y 5 se enlistan las líneas de estos conectores.

Tabla IV. Conexiones de módulos A y B

Número de pata	J1	J2	J3
1	5V	I0	GND
2	INT*	I1	D7
3	P0	I2	D6
4	ALE		D5
5	A1		D4
6	A0		D3
7	RD*		D2
8	P1		D1
9	WR*		D0
10	P2		

Tabla V. Conexiones de los módulos B y C

J4							
1	I2	8	CLK	15	WR*	22	-
2	I1	9	-	16	RD*	23	D1
3	I0	10	RESET	17	P3	24	D3
4	9V	11	D2	18	GND	25	D5
5	P4	12	D4	19	D7		
6	E/A*	13	A0	20	D0		
7	D6	14	INT*	21	-		

IV PROGRAMACION

IV.1 INTRODUCCION

En este capítulo se describen brevemente los programas para los modos de funcionamiento, programación y recuperación de datos del termógrafo digital. Son dos programas: el primero desarrollado en lenguaje ensamblador del 80C88 [Intel, 1987] y el segundo escrito en Pascal para computadora personal [Borland International, 1985].

En este capítulo sólo se analizarán los diagramas de flujo; los programas completos se incluyen en un segundo tomo.

IV.2 PROGRAMA DEL TERMOGRAFO

El programa residente en la memoria de lectura exclusiva se ejecuta cada vez que el termógrafo se energiza. Esto puede ocurrir debido a dos posibles causas: 1) que se haya cumplido el tiempo para otra adquisición de temperatura, y 2) que se haya conectado la interfaz de comunicación. Lo primero que realiza el termógrafo al "despertar", es investigar si se encuentra conectado a la interfaz de comunicación, y en consecuencia, elige entre dos rutinas (ver figura 3).

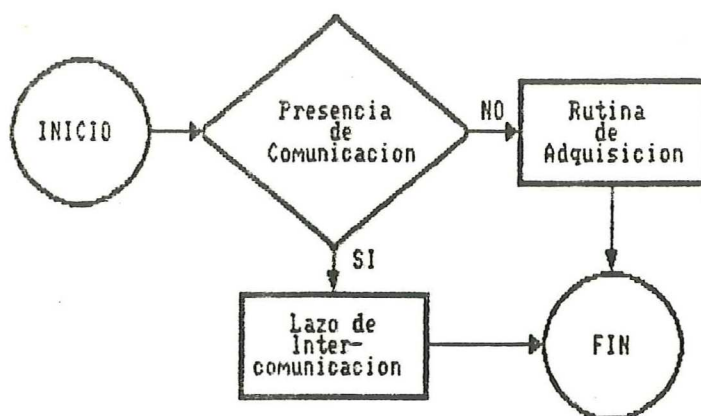


Figura 3. Inicio del programa del termógrafo

IV.2.1 RUTINA DE ADQUISICION

Cuando el termógrafo no está conectado a la interfaz de comunicación, da por hecho que se encuentra "en campo" y que es tiempo de tomar otro dato, la Figura 4 ilustra esta rutina.

Primeramente, se manda la adquisición de temperatura, lo cual toma alrededor de 130 ms. Mientras ésta se realiza, se calcula la hora de la próxima interrupción con base en la hora actual y en el intervalo de muestreo. Si dicha fecha no es posterior a la programada para finalizar el muestreo, configura el temporizador para que genere una nueva interrupción en la hora calculada; en caso contrario se desactivan las interrupciones dejando de muestrear el termógrafo.

Una vez cumplido el tiempo de espera de adquisición de

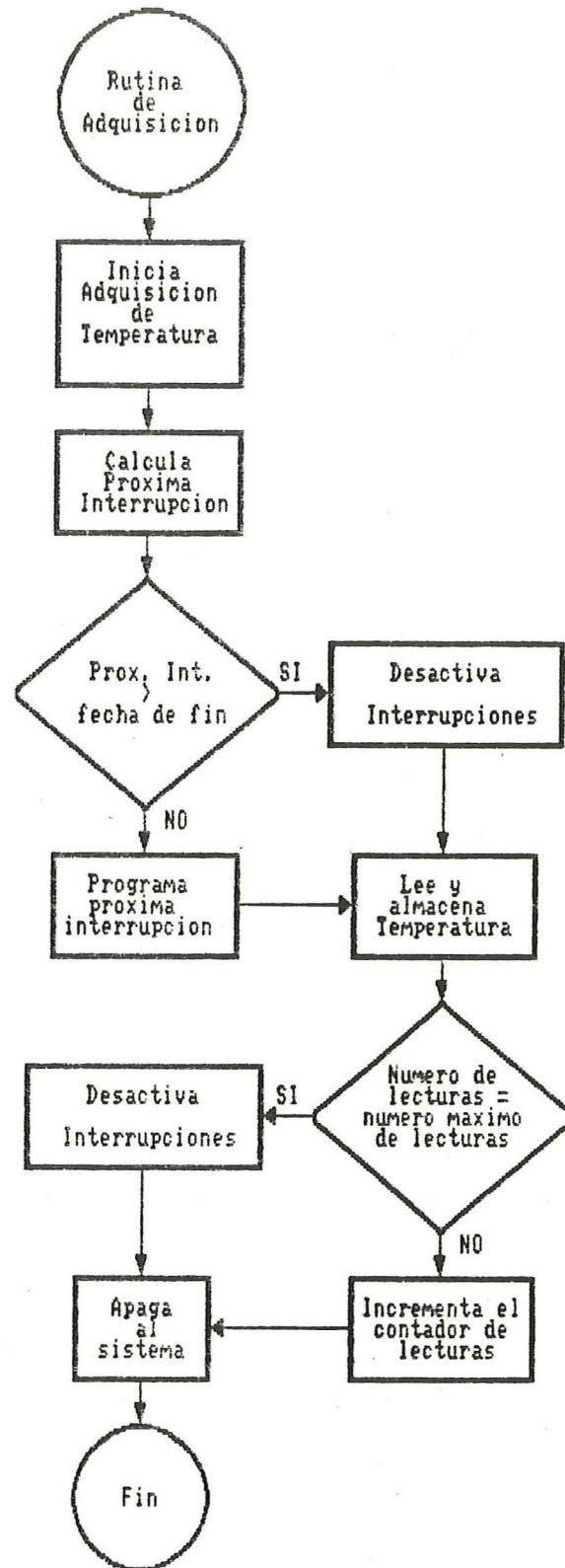


Figura 4. Rutina de adquisición

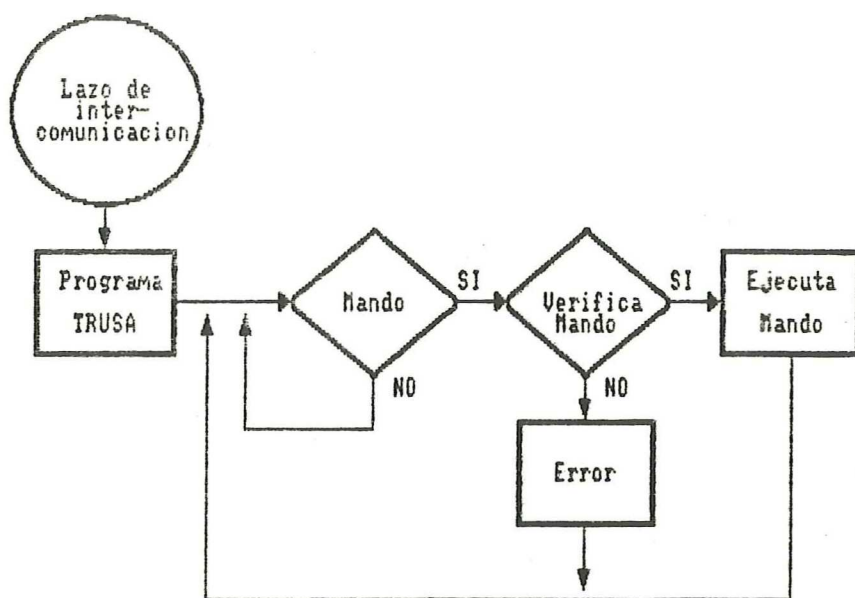


Figura 5. Lazo de intercomunicación

temperatura, se procede a la lectura y almacenamiento de ésta. Se verifica si en la memoria del termógrafo existe lugar para una nueva lectura; si no es así, se desactivan las interrupciones terminando la labor de campo.

Después de actualizar el contador de número de lecturas efectuadas, el termógrafo procede a apagar el sistema mediante la lectura del registro de interrupciones del temporizador, desactivando la línea de interrupción (INT*) y desencadenando el apagado del sistema.

IV.2.2 LAZO DE INTERCOMUNICACION

Cuando el termógrafo se encuentra conectado a la interfaz de comunicación, se da por hecho que no se está en el campo y por lo tanto, no interesa la temperatura, sino la ejecución de alguna de las funciones de intercomunicación. Para ésto, el termógrafo programa el TRUSA a la velocidad que el usuario ha elegido, con 8 bits de datos, un bit de alto y paridad par, para después entrar en un lazo de espera, verificación y ejecución de los mandos (ver figura 5).

Cuando el mando no es verificado, se transmite una señal de error de transmisión por el TRUSA.

A continuación se describen cada uno de los mandos del termógrafo.

IV.3 MANDOS DEL TERMOGRAFO

MANDO B / nivel de batería /

El objeto de este mando es dar a conocer porcentualmente el nivel útil de batería, donde el 0% representa 6 volts mientras que el 100% representa 9 volts en la batería principal.

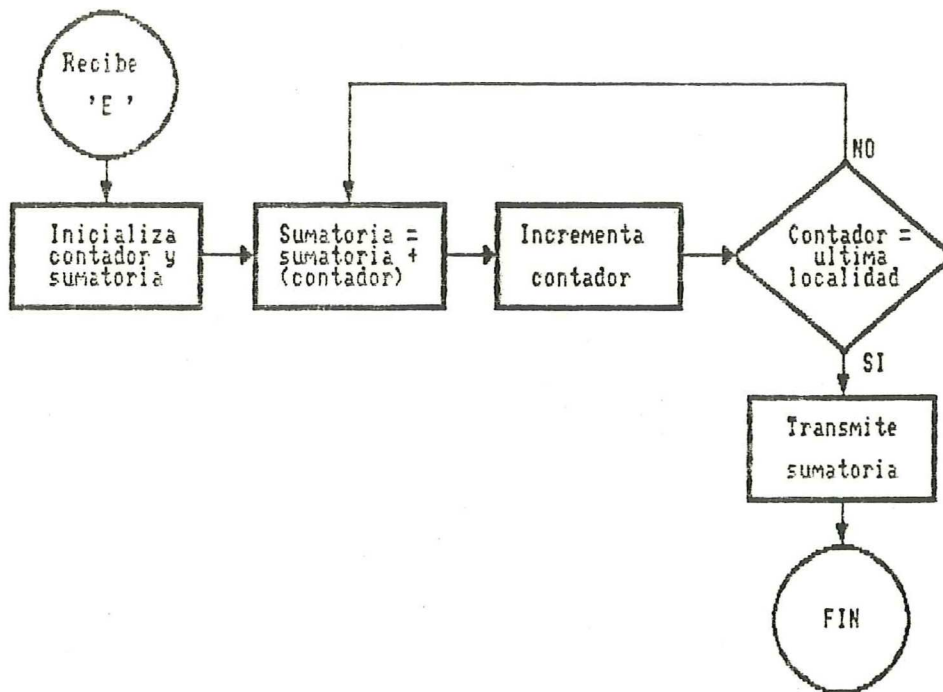


Figura 7. Prueba de memoria de lectura exclusiva

muestra el diagrama de flujo de este mando.

MANDO G / descarga muestreo /

Este mando tiene por objeto descargar el total de muestras efectuadas hasta el momento de la comunicación. La descarga se efectúa en bloques de hasta 16 lecturas (32 octetos) en formato Intel y con acuse de recibido. La figura 8 ilustra el diagrama de flujo de este mando. Al identificar el carácter 'G', el termógrafo calcula el número de bloques por transmitir e inicializa el contador. Después procede a mandar los bloques en formato Intel y espera una respuesta que puede ser de tres tipos. Si se recibe la señal de

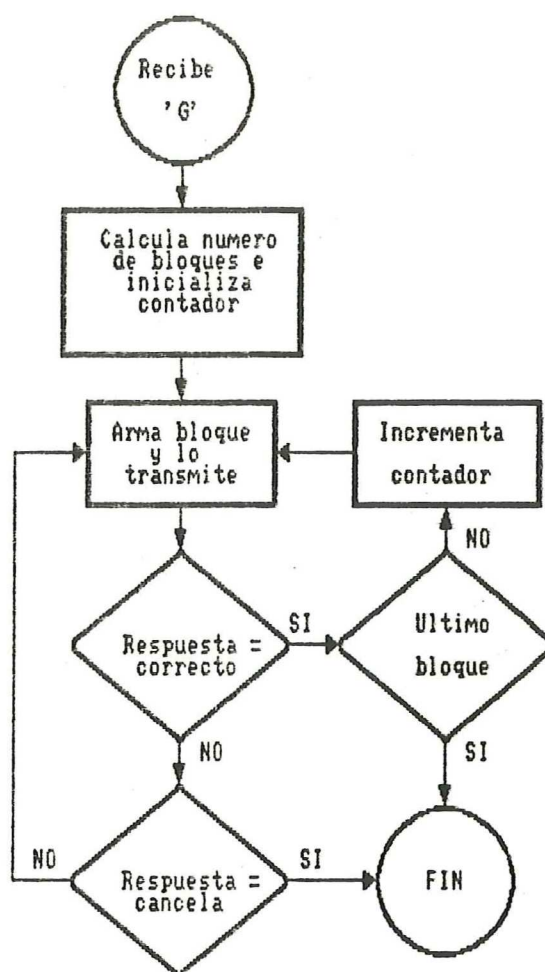


Figura 8. Descarga de muestras

"correcto" se incrementa el contador y se procede a mandar el siguiente bloque. Si se recibe la señal de incorrecto se procede a mandar el mismo bloque y si se recibe la señal de cancelación se suspende el mando. Esto se repite hasta transmitir el último bloque y recibir la señal de "correcto".

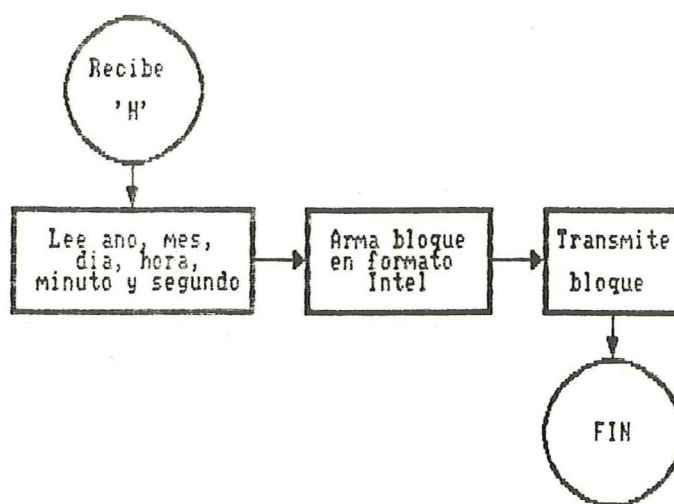


Figura 9. Fecha y hora internas

MANDO H / fecha y hora internas /

Este mando sirve para informar al usuario la fecha y hora señalada por el reloj de tiempo real del termógrafo. La transmisión se efectúa en un bloque de 6 octetos de datos en formato Intel, la figura 9 muestra el diagrama de flujo de este mando.

MANDO I / identificación del termógrafo /

Este mando sirve para que el termógrafo envíe su identificación y los parámetros de programación. Esta identificación consta de:

- Un encabezado de 305 caracteres ASCII con información del experimento que está programado

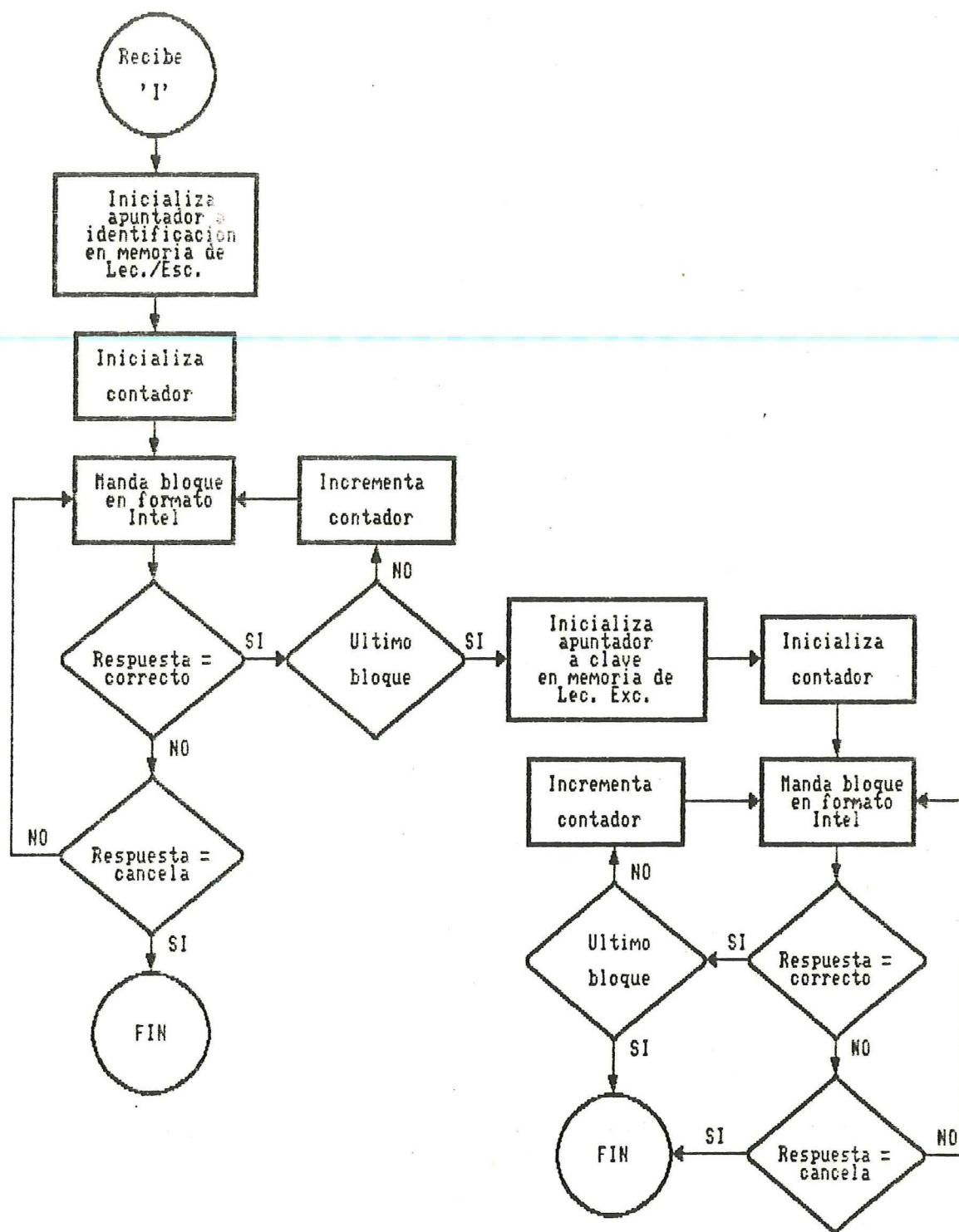


Figura 10. Identificación del termógrafo

- La fecha y hora de inicio del experimento
- La fecha y hora de fin del experimento
- El intervalo de muestreo en horas y minutos
- El número de lecturas efectuadas hasta el momento de la comunicación
- Una bandera que informa si se han "extraído" los datos que tiene almacenado en memoria el termógrafo.

El termógrafo transmite 10 bloques de 32 octetos de información en formato Intel, conteniendo toda la información descrita anteriormente.

Otra información que forma parte de la identificación del termógrafo, se encuentra en memoria de lectura exclusiva. Esta es una clave exclusiva de cada termógrafo en 16 bits y 16 constantes de calibración personalizada del sensor de temperatura. El termógrafo transmite 9 bloques más de 32 octetos de información en formato Intel, conteniendo la clave y las constantes de calibración del termógrafo. La figura 10 muestra el diagrama de flujo de este mando.

MANDO M / verifica funcionalidad de la
memoria de lectura/escritura /

Este mando tiene por objeto verificar el buen estado de la memoria de Lectura/Escritura. Al recibir el carácter 'M',

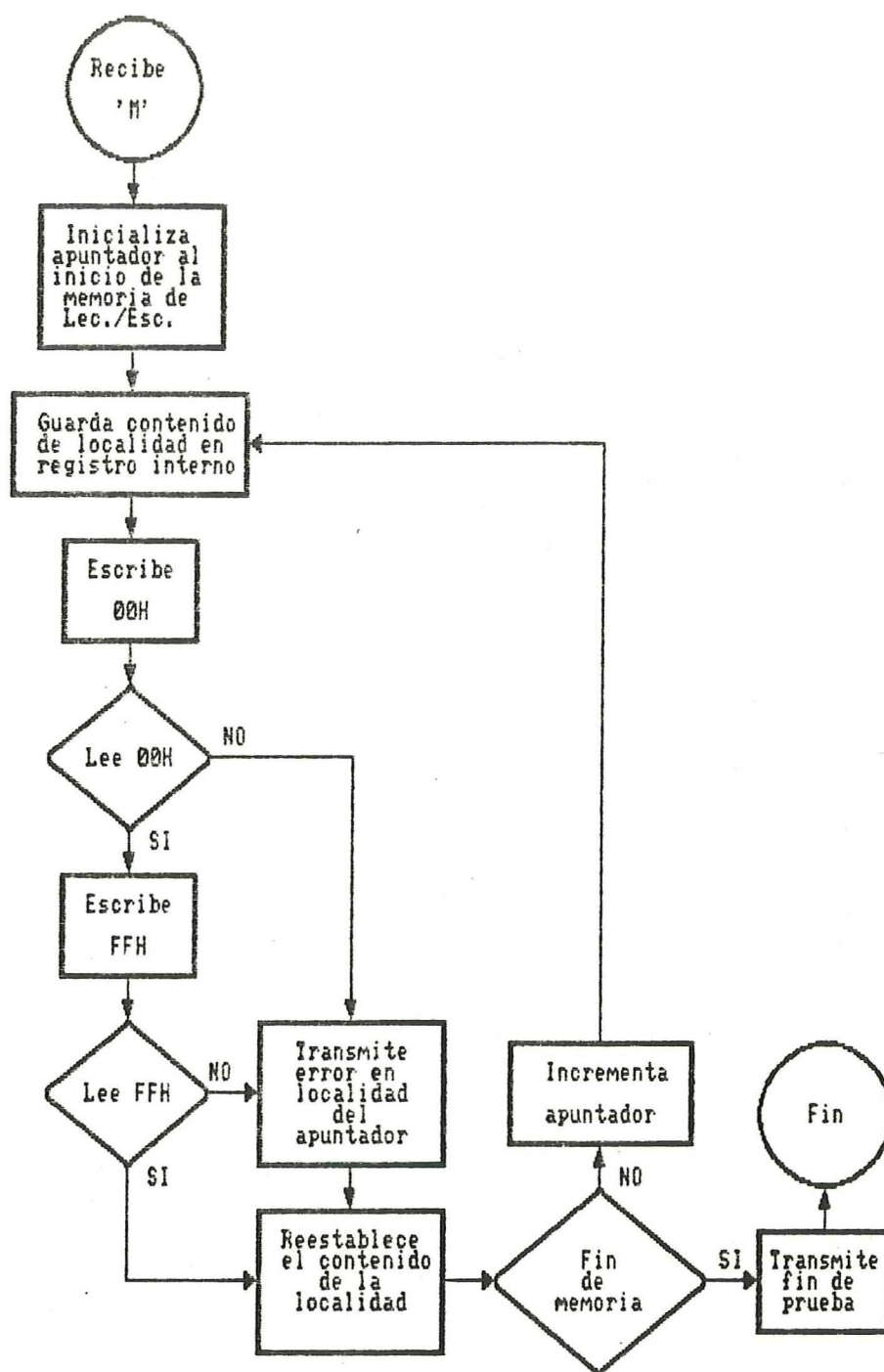


Figura 11. Prueba de memoria de lectura/escritura

se inicia una prueba que consiste en escribir 00H a una localidad de memoria para luego leer 00H. Posteriormente, se

escribe FFH para luego leer FFH; en caso de no leerse lo que se esta escribiendo, se notificará el error por el TRUSA, pero si no hay problemas se continúa hasta probar el total de las localidades de memoria de Lectura/Escritura. La figura 11 muestra el diagrama de flujo de este mando.

La prueba se lleva a cabo localidad por localidad. El contenido de la localidad en turno es guardado en uno de los registros internos del microprocesador y posteriormente reescrito, por lo que el contenido total de la memoria permanece inalterado después de esta prueba.

MANDO P / actualiza parámetros de operación /

Este mando tiene por objeto actualizar los parámetros de operación e identificación del termógrafo para un nuevo experimento. La figura 12 muestra el diagrama de flujo de este mando.

El carácter 'P' es precedido de 10 bloques con 32 octetos de información en formato Intel. Estos bloques contienen: un encabezado de 305 caracteres ASCII con información del experimento que va a iniciar, la fecha y hora de inicio de este nuevo experimento, la fecha y hora de fin de este experimento y el intervalo de muestreo en horas y minutos. Esta información se guarda en memoria de Lectura/Escritura y además, se inicializan tanto el contador

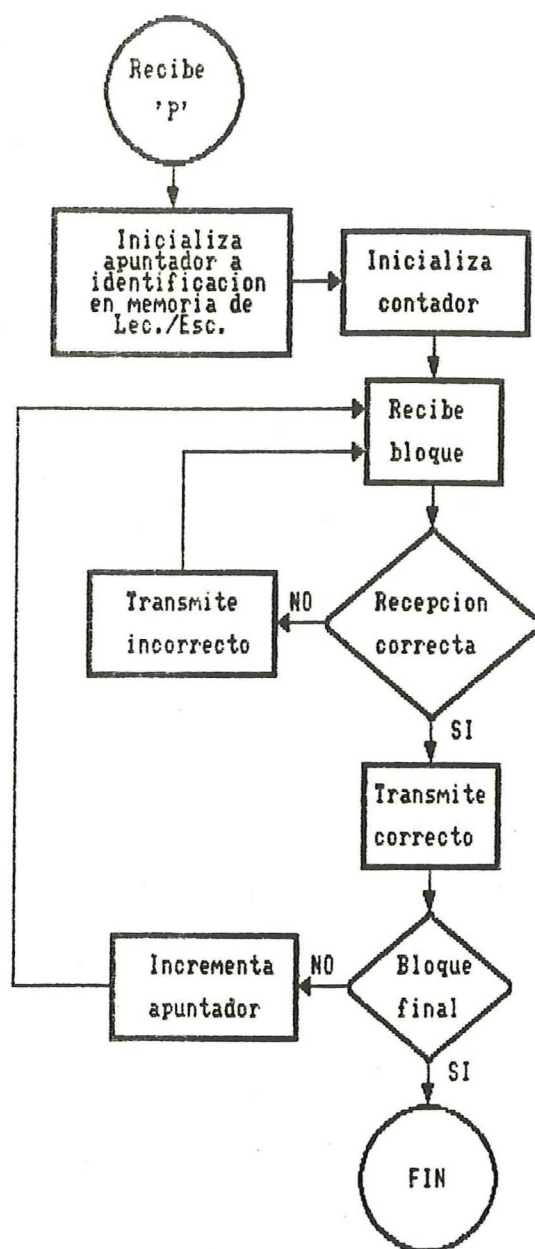


Figura 12. Actualización de parámetros de operación

de lecturas de temperaturas efectuadas, como la bandera de "datos recuperados".

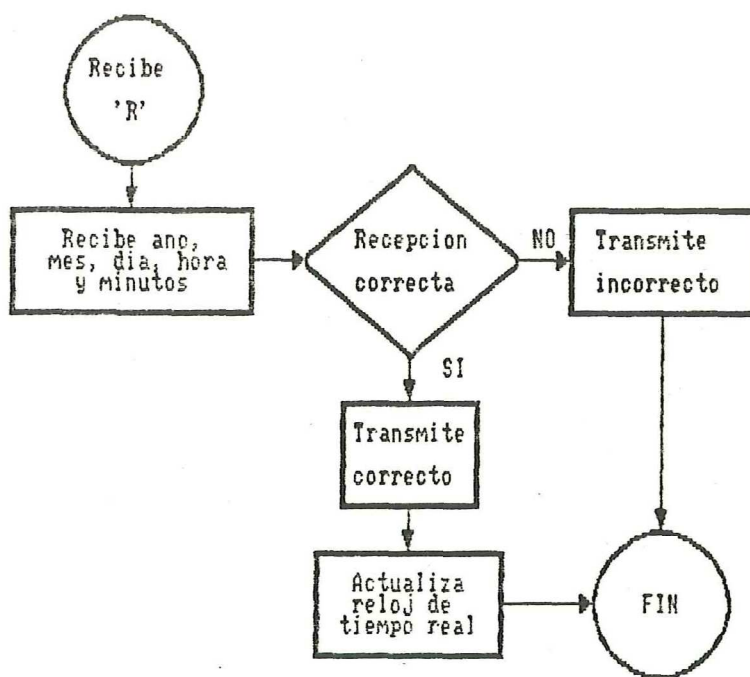


Figura 13. Actualización de fecha y hora internas

MANDO R / actualización de fecha y hora internas /

Este mando sirve para actualizar el reloj de tiempo real con la fecha y hora actuales.

El carácter 'R' es precedido de un bloque de 5 octetos de datos en formato Intel, este bloque contiene; año (0-99), mes (1-12), día (1-31), hora (0-23) y minuto (0-59). Después de recibir el bloque y de verificar la buena recepción de éste, se procede a actualizar el reloj de tiempo real con los datos antes descritos y además se inicializan los contadores de segundos y centésimas de segundo a ceros.

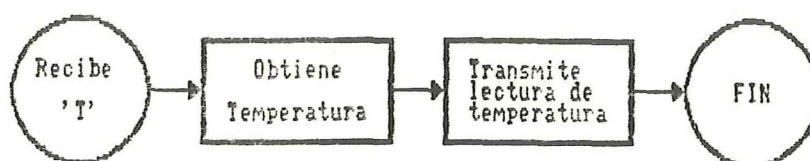


Figura 14. Lectura de la temperatura actual

La figura 13, muestra el diagrama de flujo de este mando.

MANDO T / lectura de temperatura actual /

Este mando sirve para informar por el TRUSA la temperatura a la que se encuentra el sensor. Este mando permite al usuario verificar el buen funcionamiento del termógrafo en la adquisición de temperatura. La figura 14 muestra el diagrama de flujo de este mando.

IV.4 PROGRAMA DE INTERCOMUNICACION

Para que el termógrafo pueda ser utilizado, es necesario contar con un dispositivo capaz de darle instrucciones y de extraer los datos. En este caso se utiliza una computadora personal conectada al termógrafo por medio de su puerto serie. La programación de la computadora personal que se describe, sirve para facilitar la intercomunicación del usuario con el termógrafo.

Al iniciar la operación del programa, lo primero que hace es preguntar al usuario la velocidad de transmisión a la que desea operar. Esta velocidad debe ser la misma a la que está programado el termógrafo. Posteriormente presenta el menú principal desde donde pueden efectuarse los cuatro mandos que se explican a continuación.

MANDO I / inicialización del termógrafo /

Este mando sirve para inicializar el termógrafo con los parámetros de un nuevo experimento o simplemente para conocer los parámetros a los que ya está programado.

Al escoger el usuario este mando, el programa pide al termógrafo su identificación (ver mando I de los mandos del termógrafo). Esta información se despliega en pantalla y se invita al usuario a escoger entre dar por terminado el mando o cambiar los parámetros programados.

En caso de optar por salir del mando, el termógrafo mantendrá la información que tenía. En caso contrario, se reprogramará al termógrafo, para lo cual el programa pedirá al usuario, en forma sucesiva, los parámetros que forman la identificación (ver mando I de los mandos del termógrafo). Una vez recolectados estos parámetros se muestran en pantalla para que el usuario tenga oportunidad de revisar la información recabada.

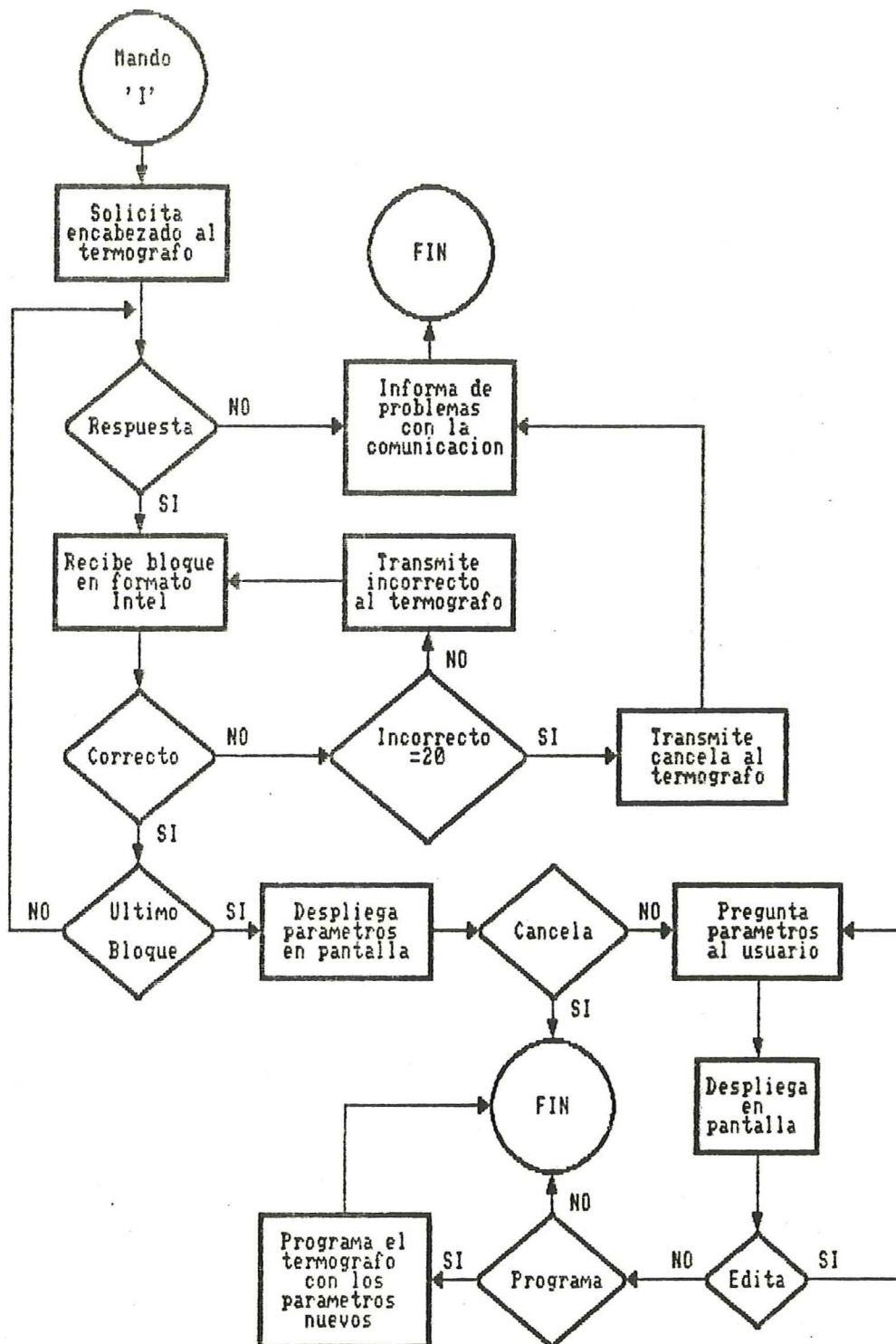


Figura 15. Inicialización del termógrafo

En este punto el usuario tiene tres opciones: terminar el mando sin alterar los parámetros originales del termógrafo, repetir el proceso de recolección de información de un nuevo experimento o programar el termógrafo con la información que se ha dado.

Este mando hace uso de los mandos I y P del programa del termógrafo.

La figura 15 muestra el diagrama de flujo de este mando.

MANDO O / "extrae" los datos /

Este mando tiene por objeto "extraer" los datos del termógrafo (entendiéndose por extraer el proceso de obtención de todas las lecturas hechas por el termógrafo durante un experimento) y guardar los resultados en un archivo en disco. Este archivo contendrá: el encabezado del experimento realizado, la fecha y hora de inicio del experimento, la fecha y hora de fin del experimento, el intervalo entre muestras, el número de lecturas que se lograron almacenar y las lecturas obtenidas por este experimento.

El termógrafo almacena cada una de las lecturas en 12 bits sin efectuar corrección alguna. Para mejorar la calidad de los mismos es necesario aplicarles un algoritmo de linealización (mínimos cuadrados), que consiste en cuatro curvas de tercer orden, una para cada uno de los cuatro

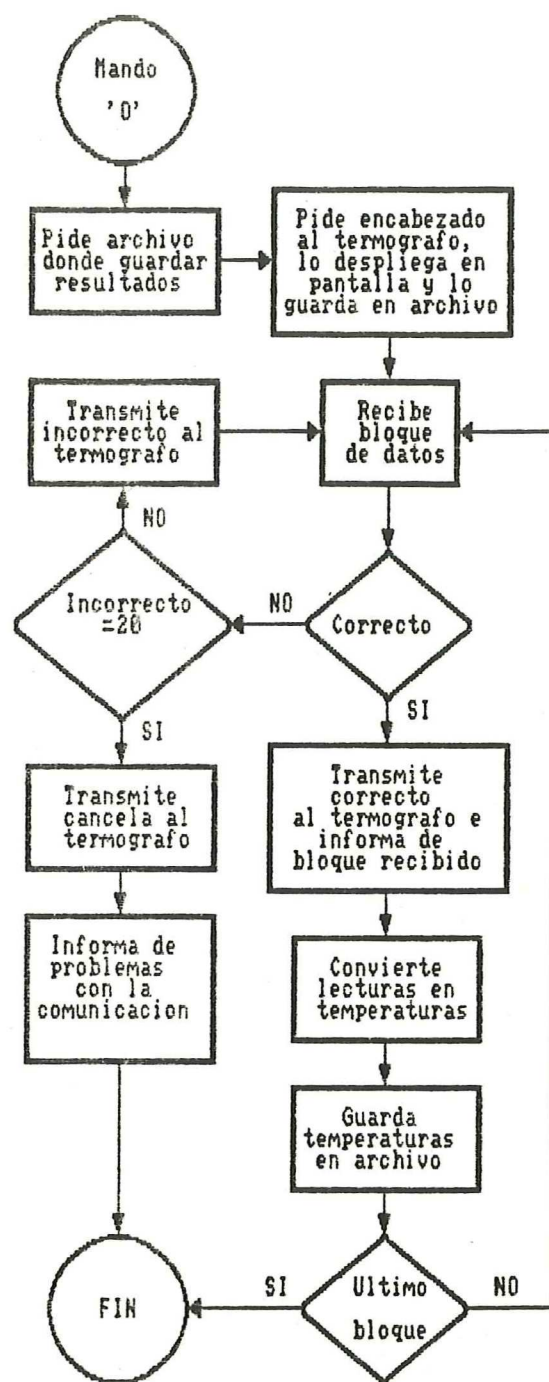


Figura 16. Extrae los datos

subintervalos en los que se divide el intervalo total [Noble Ben, 1969]. Dependiendo del valor de la lectura (0-1023,

1024-2047 etc.), se le aplicará una de las cuatro curvas de calibración. Los resultados de este algoritmo tienen unidades de grados celcius y es en este formato en que se guardan en disco.

Al iniciar este mando, se le pide al usuario un nombre para el archivo en que se guardarán los resultados. Posteriormente, el programa despliega en pantalla el encabezado y los parámetros del experimento que se está guardando y conforme se están recibiendo los bloques de transmisión se informa en pantalla el número de bloques recibidos, así como del total de bloques que se tienen que recibir. En el momento de recibirse los datos, estos se van procesando y guardando en archivo. La figura 16, muestra el diagrama de flujo de este mando.

MANDO P / prueba del termógrafo /

El objetivo de este mando es efectuar una prueba general del termógrafo para que de esta manera el usuario pueda darse cuenta de las condiciones en las que se encuentra el aparato.

La primera acción al iniciar este mando es desplegar en pantalla los parámetros que tiene programados el termógrafo, es decir su identificación (ver mando I de los mandos del termógrafo). Posteriormente presenta el porcentaje de batería útil que queda. La siguiente prueba es la de la memoria de

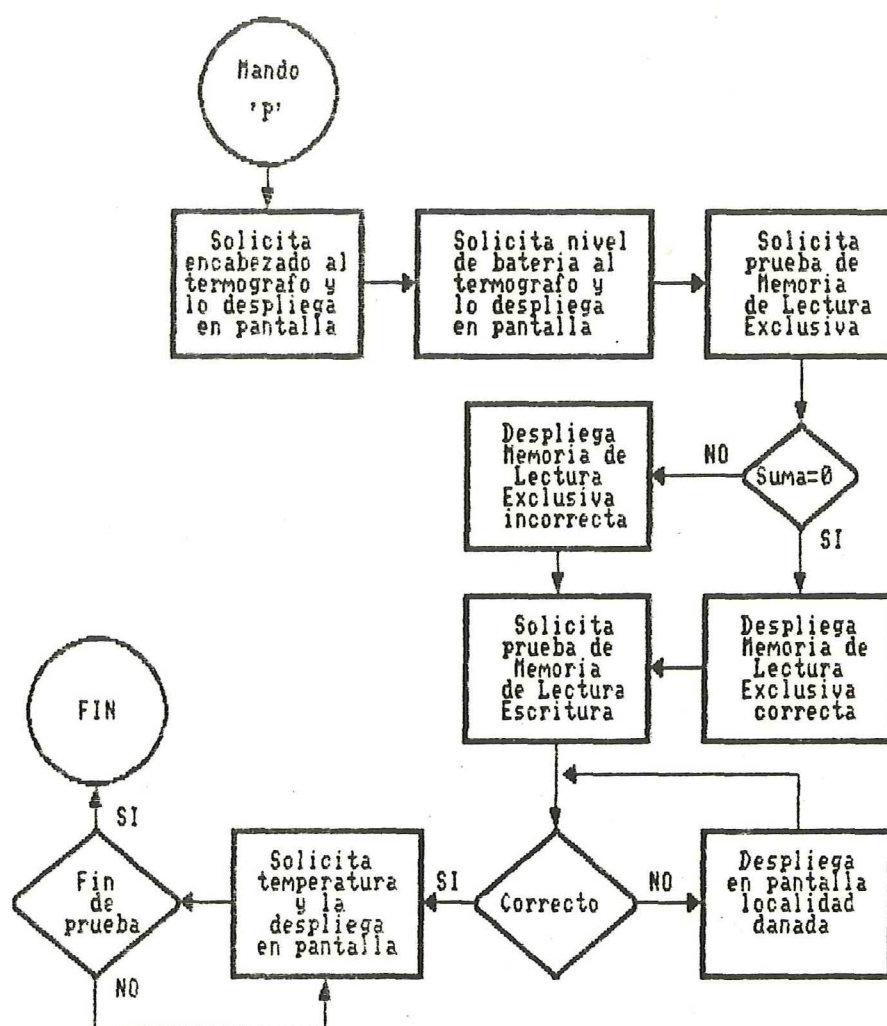


Figura 17. Prueba general del termógrafo

lectura exclusiva descrita anteriormente en el Mando E del termógrafo (sección IV.3). Otra prueba es la de la memoria de Lectura/Escritura, descrita en el Mando M del termógrafo (sección IV.3).

Por último se efectúa una prueba repetitiva que consiste en obtener la temperatura del sensor y desplegarla en pantalla hasta que el usuario lo desee. De esta manera el

usuario tendrá una estimación del estado en que se encuentra el circuito de adquisición de temperatura.

La figura 17, muestra el diagrama de flujo de este mando.

MANDO R /actualización fecha y hora internas /

Este mando tiene por objeto actualizar la fecha y hora del reloj de tiempo real del termógrafo.

Al iniciar el mando despliega la fecha y hora que tiene el reloj de tiempo real y pregunta por cambio en la fecha y hora o cancelación del mando. Si el mando se cancela, el reloj de tiempo real permanecerá inalterado, pero si se procede a cambiar, se pregunta año, mes, día, hora y minutos para después actualizar el reloj de tiempo real con los datos recabados.

La figura 18, muestra el diagrama de flujo de este mando.

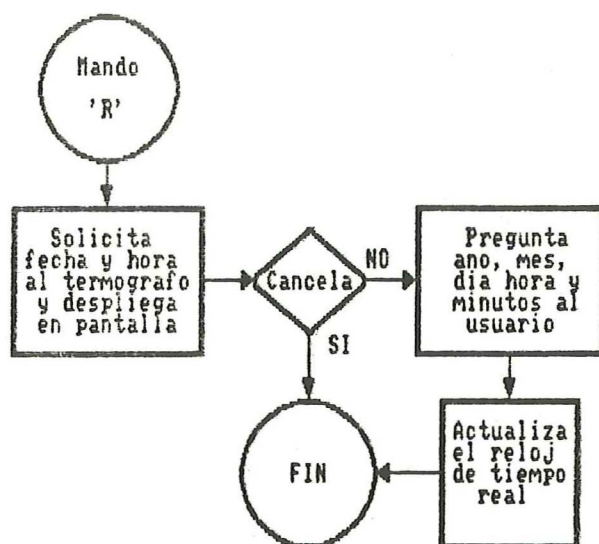


Figura 18. Actualización de la hora interna

V CALIBRACION Y PRUEBA DE CAMPO

En este capítulo se describe el proceso de calibración y se presentan resultados de mediciones en el mar.

V.1 CALIBRACION

El termógrafo da una lectura que es un número entero entre 0 y 4095. Esta lectura por sí sola no sirve de nada si no existe la forma de relacionarla con la temperatura a la que se encontraba el sensor. El proceso de calibración consiste en encontrar la relación entre la lectura y la temperatura a la que se encuentra el sensor. Para realizar este proceso se utilizó un tanque de agua que tiene paredes con recubrimiento térmico y que cuenta con una bomba de agua que homogeneiza la temperatura del agua para evitar gradientes de temperatura. Se utilizó como referencia un termómetro de cuarzo marca Hewlett-Packard modelo 2804A, cuya exactitud (previa calibración) es de 0.04°C [Hewlett-Packard Company, 1978].

Durante la calibración se sumergieron el termógrafo y la sonda del termómetro HP. Inyectando agua a diferente temperatura se hicieron varios barridos desde menos de 5°C , hasta más de 35°C . En cada lectura se dió tiempo suficiente de estabilización al termógrafo (10-15 min.). Cada incremento

lecturas del termografo respecto del HP

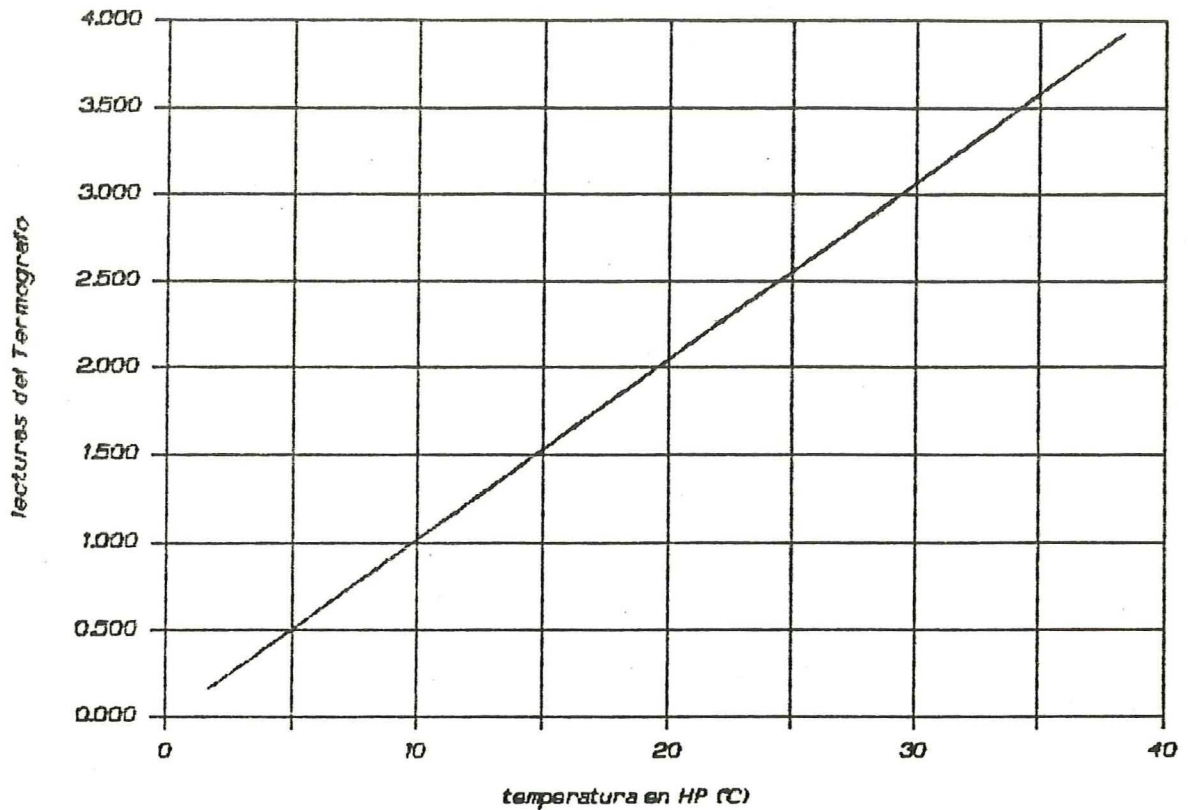


Figura 19. Lecturas del termógrafo respecto del HP

de temperatura entre lecturas fue de entre 0.5°C y 1.0°C .

La figura 19, muestra la relación de las lecturas obtenidas contra la temperatura reportada por el HP.

Una vez obtenidos estos datos, se dividió en cuatro el intervalo completo de lecturas; esto es de 0 a 1023, de 1024 a 2047, de 2048 a 3071 y de 3072 a 4095.

En cada subintervalo se encontraron, por ajuste de curva

medición del termografo respecto del HP

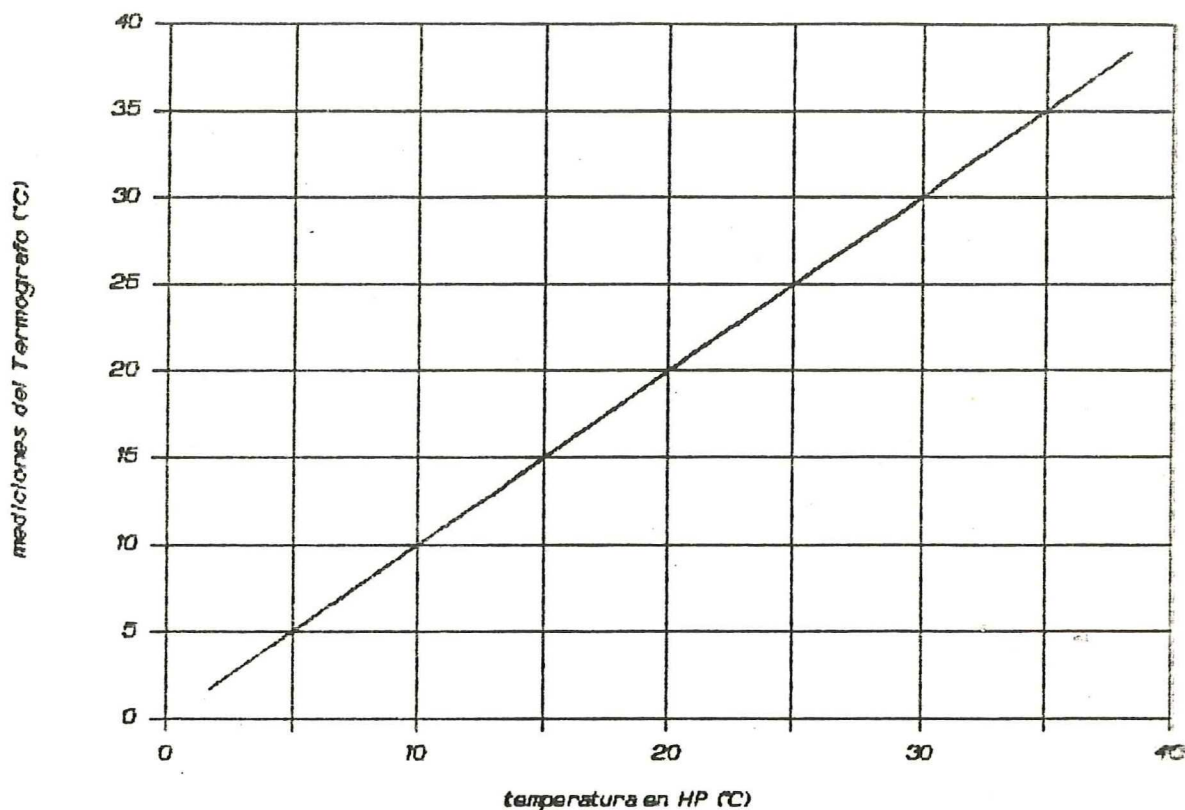


Figura 20. Medición del termógrafo respecto del HP

por mínimos cuadrados, las cuatro constantes de la curva de tercer orden que mejor se ajusta a los puntos. La figura 20 muestra los resultados de las temperaturas obtenidas del ajuste, contra las temperaturas del termómetro HP.

Una vez obtenidos estos resultados se encontró el error obtenido en cada medición respecto del termómetro HP, la figura 21 muestra la gráfica de estas diferencias. Como se podrá observar, las máximas diferencias encontradas fueron de

diferencias del termografo y el HP

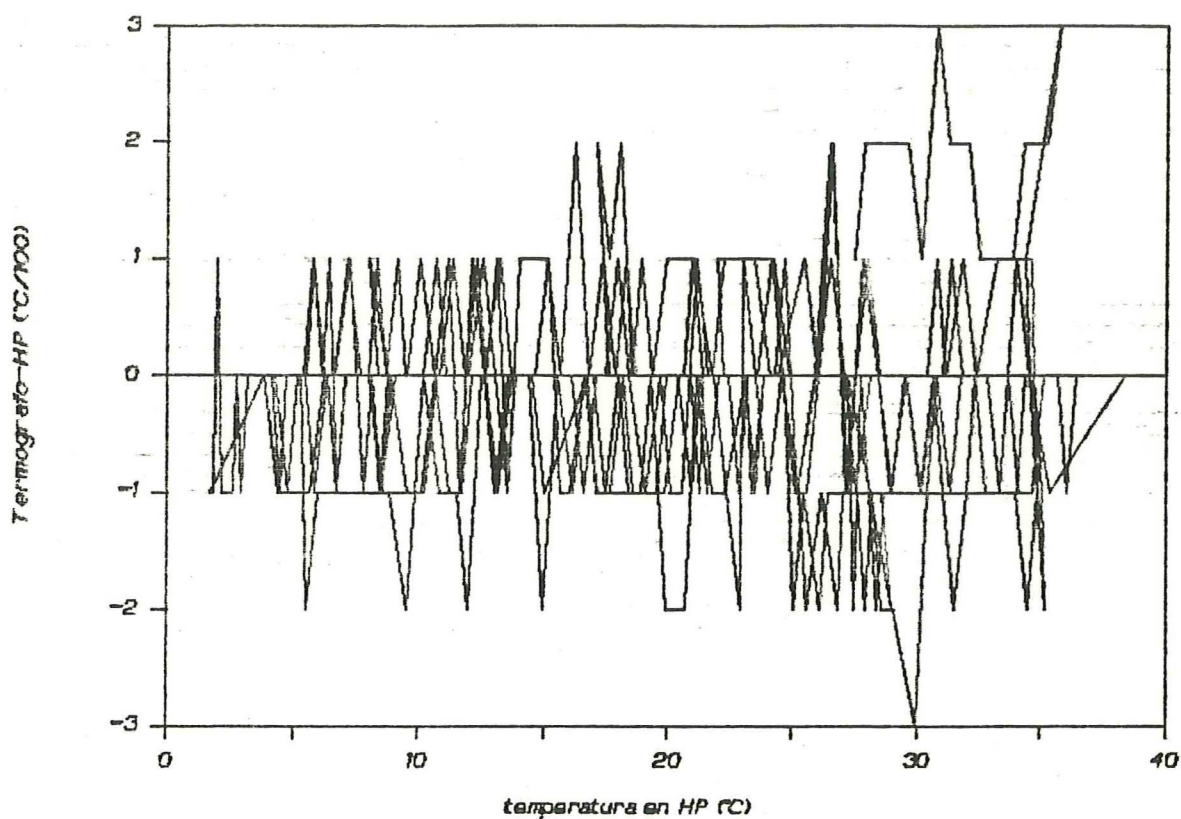


Figura 21. Diferencias del termógrafo CICESE y del HP

$\pm 0.03^{\circ}\text{C}$ (con 0.001°C como promedio y 0.009 de desviación estándar), sin embargo este error es a corto plazo y deberá esperarse algún tiempo para repetir las mediciones y así poder establecer la estabilidad de esta precisión.

Para efectos de comparación, se realizó un barrido de temperaturas con el termógrafo RYAN. Los resultados se muestran en la figura 22. También se obtuvieron las diferencias de temperatura entre el termómetro HP y el

medición del RYAN respecto del HP

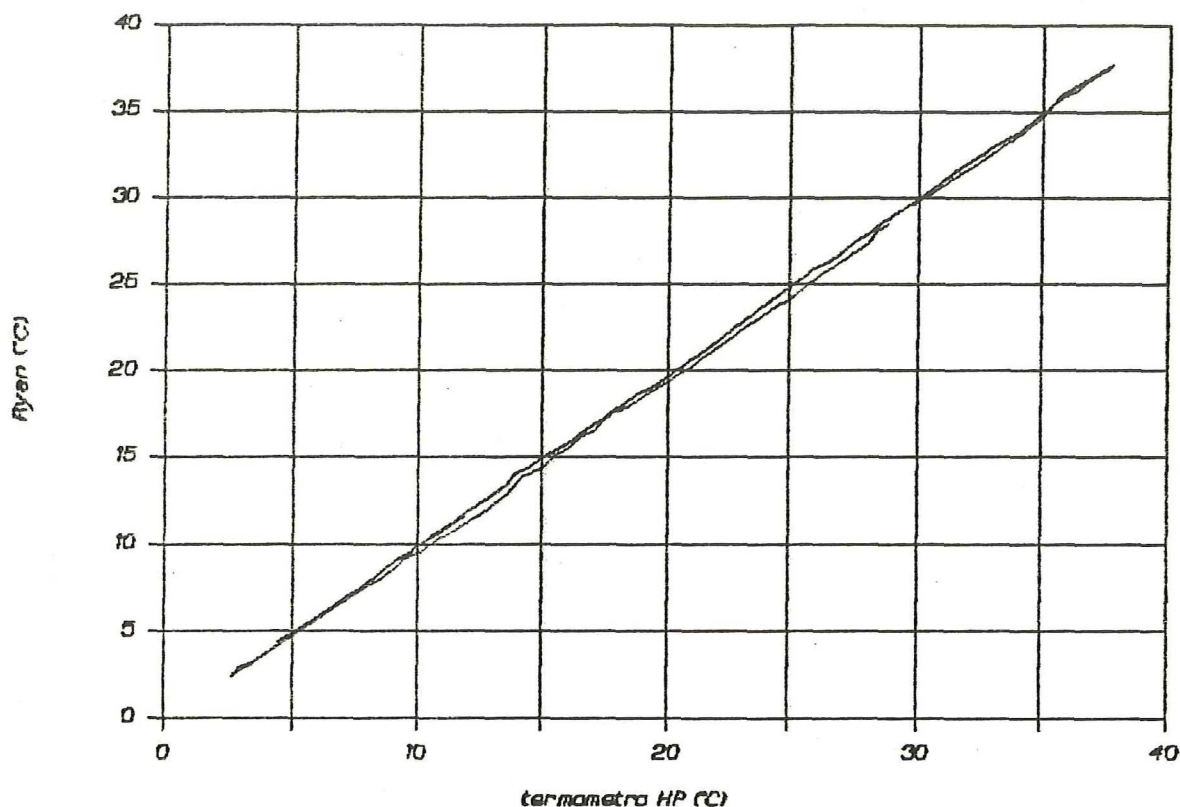


Figura 22. Medición del RYAN respecto del HP

termógrafo RYAN, la figura 23 muestra estas diferencias, el promedio de diferencias entre estos aparatos (RYAN-HP), fue de -0.27°C , con una desviación estándar de -0.25 . En esta figura se puede apreciar la trayectoria del barrido (histéresis), esto es debido a que el tiempo de respuesta del sensor del RYAN fue largo para la frecuencia con que se tomaron las muestras, aproximadamente de 10 a 15 minutos por incrementos de 0.5°C a 1.0°C .

error del RYAN respecto del HP

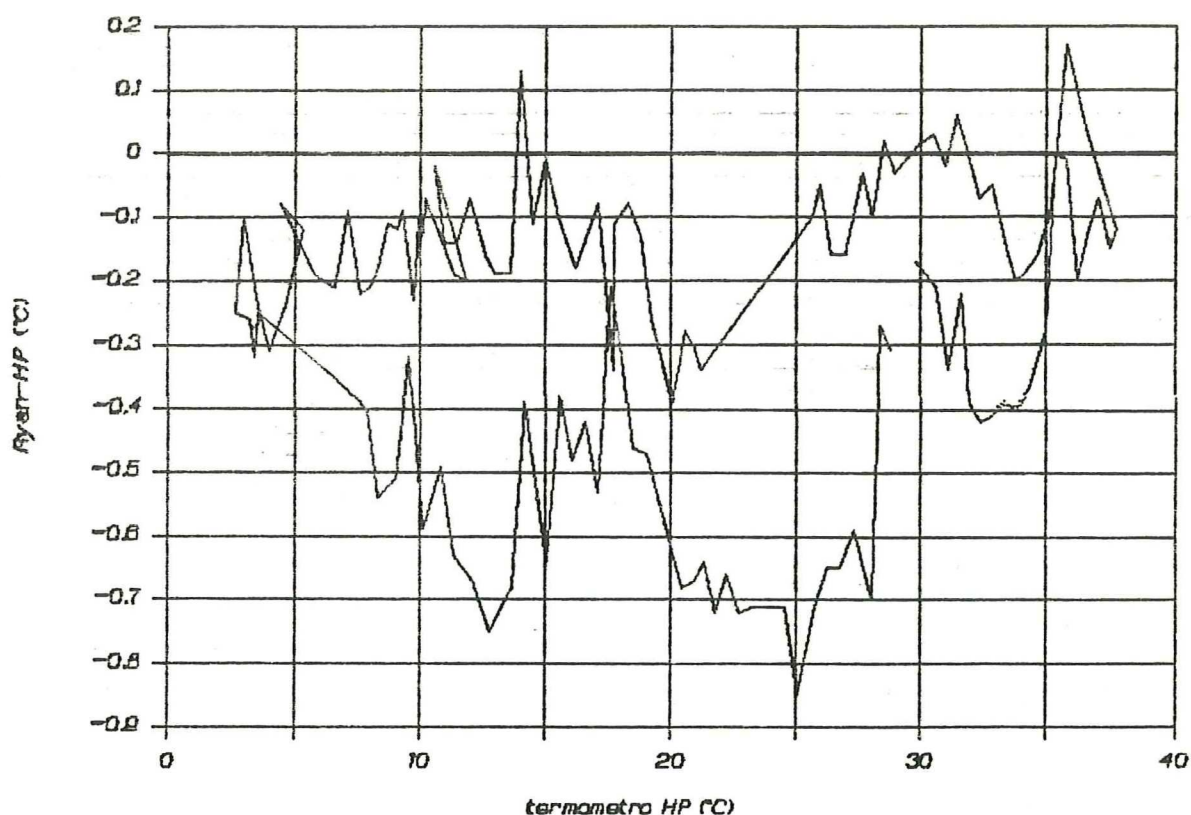


Figura 23. Error del RYAN respecto del HP

Como resultado del proceso anterior se obtuvo que la temperatura reportada por el termógrafo CICESE se puede encontrar con la siguiente ecuación:

$$T = a + b \cdot \text{lectura} + c \cdot \text{lectura}^2 + c \cdot \text{lectura}^3 \quad (8)$$

Donde dependiendo del valor de lectura las constantes son:

Lecturas entre 0 y 1023

$$a = 1.0086413779E-01$$

$$b = 9.8641813330E-03$$

$$c = -2.4989189573E-07$$

$$d = 9.8303469438E-11$$

Lecturas entre 1024 y 2047

$$a = 1.4177100118E-01$$

$$b = 9.6830852340E-03$$

$$c = -2.6011348380E-08$$

$$d = 1.5778422708E-11$$

Lecturas entre 2048 y 3071

$$a = -1.7550049745E-01$$

$$b = 9.8967408138E-03$$

$$c = -3.2266603246E-08$$

$$d = 4.4107155805E-12$$

Lecturas entre 3072 y 4095

$$a = 2.8380380744E-00$$

$$b = 7.0312522140E-03$$

$$c = 8.8101027834E-07$$

$$d = -9.3176254806E-11$$

Estas constantes se graban en la memoria de lectura exclusiva del termógrafo para que al recuperarse se transfieran al programa monitor, de esta manera el termógrafo transmite al programa las lecturas y sus constantes y el programa se encarga de hacer el cálculo de temperatura.

experimento con el termografo CICESE

muelle de marinas

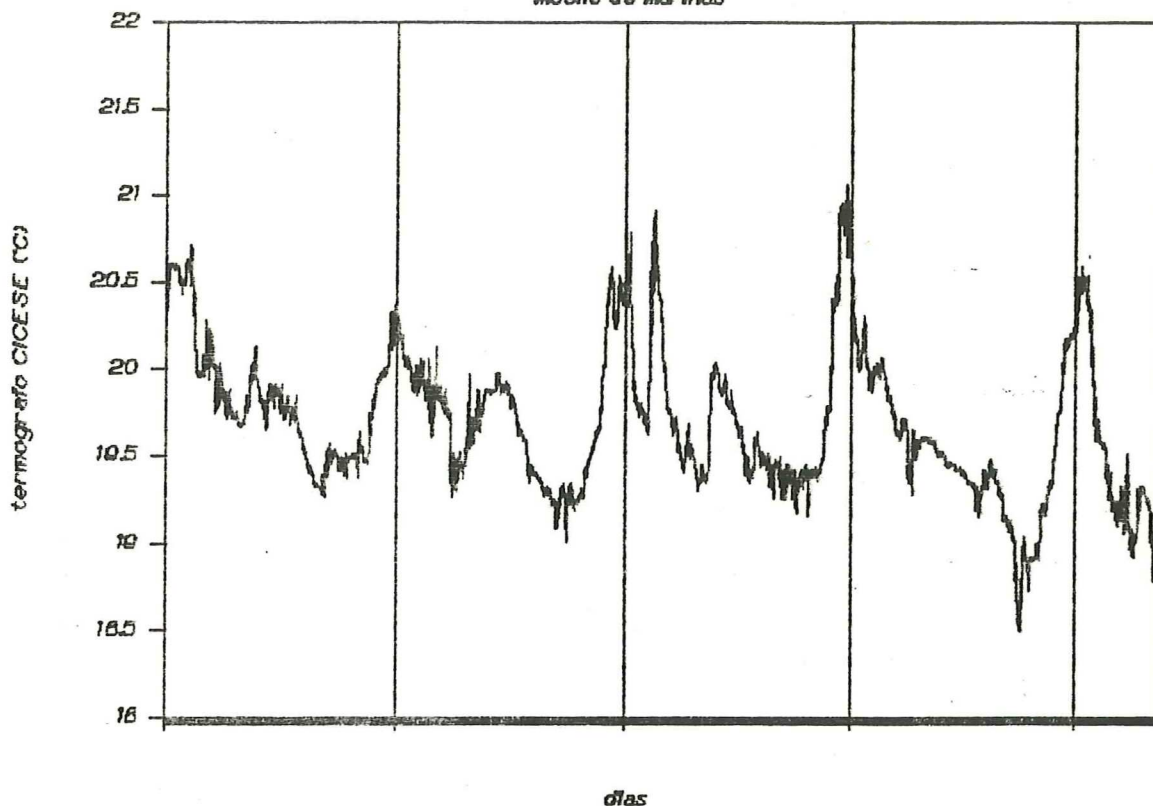


Figura 25. Experimento con el termógrafo CICESE

Después de una semana se recuperaron los instrumentos, se leyeron y guardaron sus datos en disco. Con un programa de graficado se obtuvieron las figuras 24 y 25.

En la figura 24, se presentan los datos tomados por el termógrafo RYAN y en la figura 25 los del termógrafo CICESE. La gráfica del termógrafo RYAN tiene un recorrimiento en promedio de de -0.25°C , lo cual es consistente con los resultados de calibración.

diferencia entre el RYAN y CICESE

en el muelle de marinas

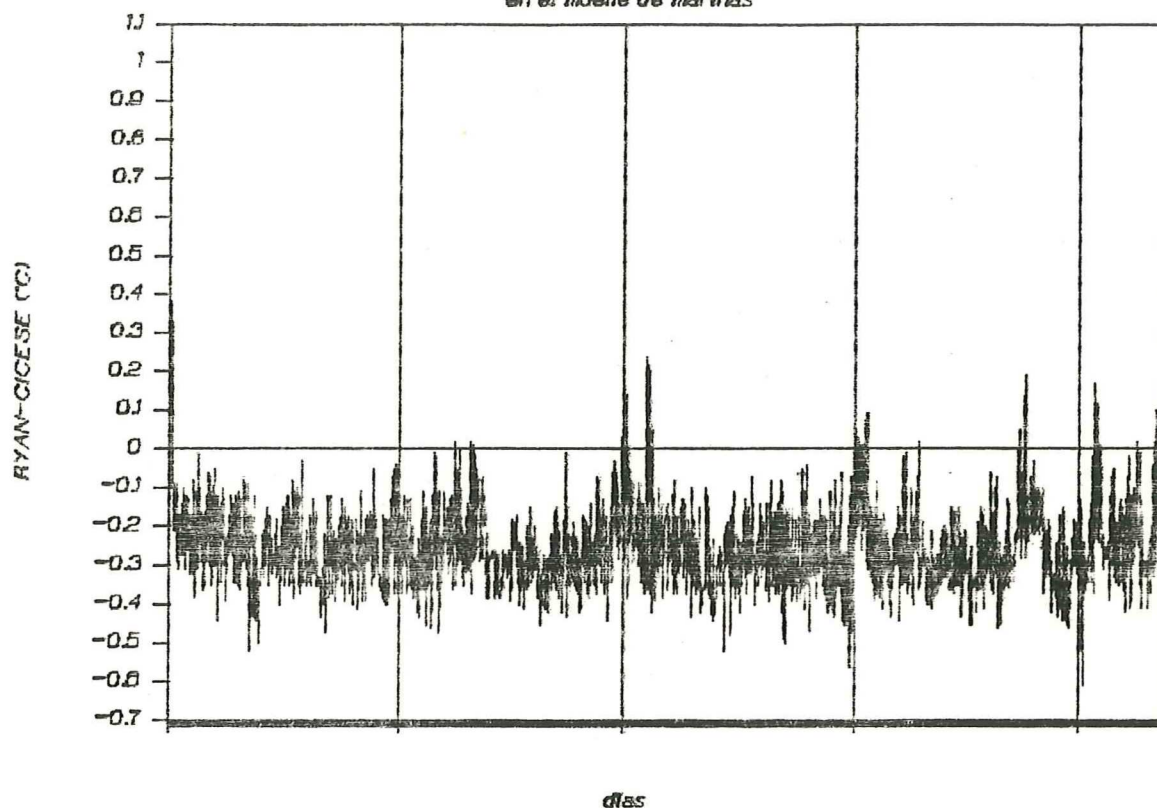


Figura 26. Diferencias entre experimento
del RYAN y del CICESE

La figura 26 muestra las diferencias entre las mediciones del termógrafo RYAN y el termógrafo CICESE, cuyo promedio es de -0.25°C , con una desviación estándar de 0.09.

En las gráficas se consideraron solo cuatro días y medio de muestreo, debido a que el termógrafo RYAN agotó su capacidad de almacenamiento en este tiempo. El termógrafo CICESE operó toda la semana.

Tabla VI. Comparación del termógrafo
CICESE vs termógrafo RYAN

	CICESE	RYAN
exactitud	$\pm 0.1^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.3^{\circ}\text{C}$
resolución	0.01°C	0.1°C
No. de muestras	15,000	6,361
alcance de temp.	0°C a $+40^{\circ}\text{C}$	-32°C a $+70^{\circ}\text{C}$
baterías	9 volts 3 volts (litio)	4 tipo AA
duracion batería	> 2 años	> 2 años
Costo del paquete		650 dls.
Costo componentes	≈ 140 dls.*	

La tabla VI, muestra las comparaciones del termógrafo
CICESE vs termógrafo RYAN.

* Estimación hecha en base a compras efectuadas durante 1988
y sin tomar en cuenta el costo del continente ni de los
circuitos impresos.

VI CONCLUSIONES

De las características y especificaciones que se obtuvieron para el termógrafo CICESE (tabla VI), se puede apreciar que se cumplieron ampliamente los objetivos planteados.

Además, de los resultados obtenidos en el muestreo comparativo entre el termógrafo CICESE y el termógrafo RYAN, se concluye que el instrumento desarrollado en este trabajo es superior en varios aspectos:

- Mayor exactitud
- Mayor resolución
- Mayor capacidad de almacenamiento
- Más versatilidad

Sin embargo en el termógrafo existen algunos aspectos que se podrían mejorar:

- El microprocesador podría cambiarse por otro más acorde a sus funciones, como por ejemplo un microcontrolador 87C51, o en su defecto un microprocesador 80C85.

- El reloj de tiempo real se podría substituir por algún otro que pudiera ser respaldado con la batería general, pero sin perder su versatilidad.

Se tiene pensado rediseñar la distribución interna del instrumento, para hacerlo aquadinámico, de tal manera que pudiera operar en zonas con corrientes altas.

Además del CICESE, existen otras instituciones tanto en el estado (IIIO-UABC), como en el país (CICIMAR La Paz, CRIP Salina Cruz), que se muestran interesados en el instrumento.

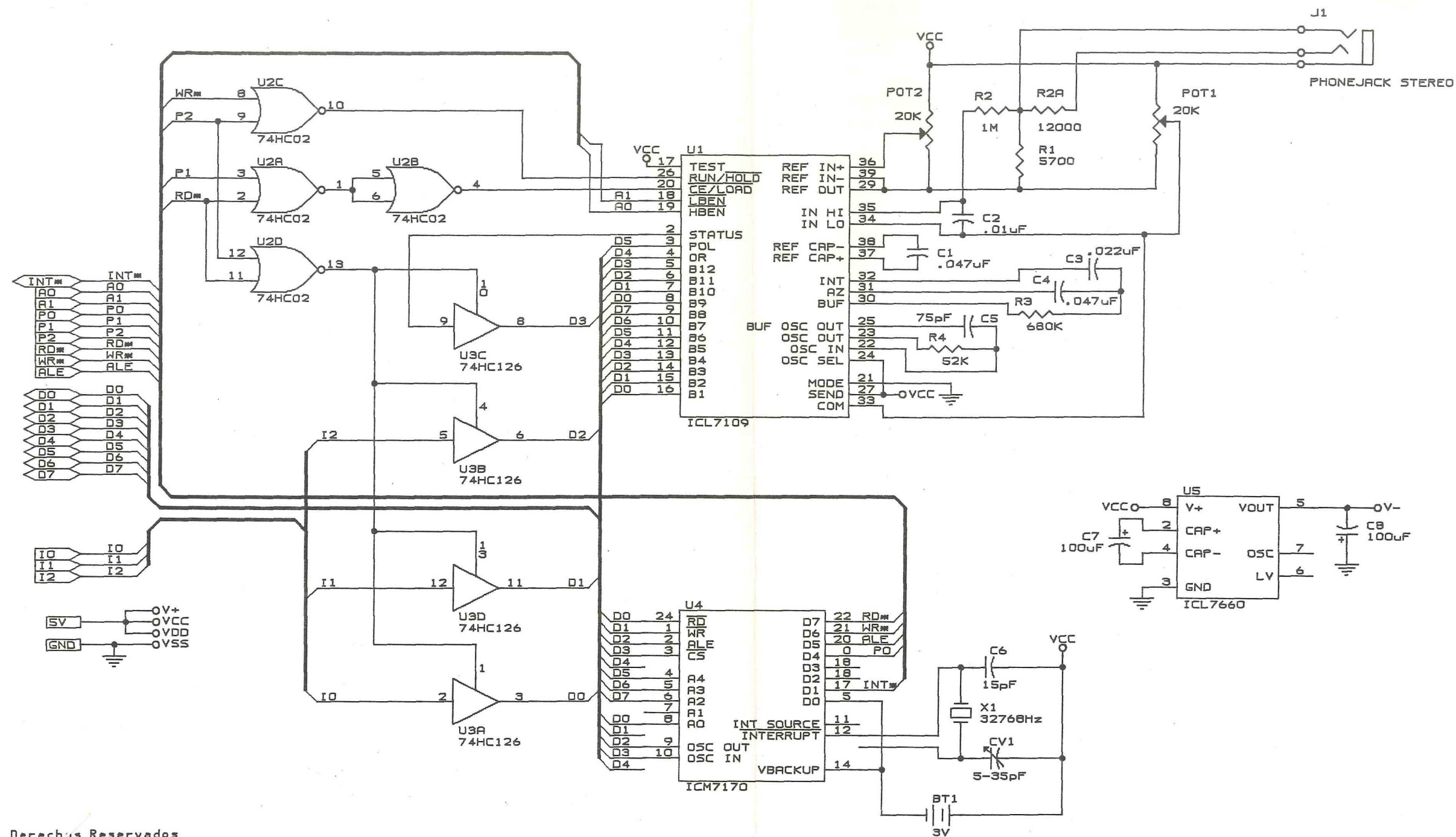
Se planea someter un proyecto al CoNaCyT, para la construcción, de un número considerable de estos instrumentos, en principio para uso del CICESE, y dependiendo de los resultados, se podría ampliar su distribución.

LITERTURA CITADA

- Borland International. 1985. TURBO Pascal Reference Manual.
- Harris. 1986. CMOS Digital Data Book. pag. 3-25 a 3-49.
- Hewlett-Packard. 1978. 2804A Quartz Thermometer. Operating and Service Manual.
- Huntsville Microsystem, Inc. 1985. Hunstville Macro Assambler Relocatable 8085 version User Manual.
- Intel. 1987. Microprocessor and Peripheral Handbook. vol. I. pag. 2-90 a 2-121.
- Intersil. 1986. Component Data Catalog 1986. pag. 5-12 a 5-19, 5-27 a 5-38, 6-48 a 6-65 y 9-1 a 9-8.
- National. 1982. Linear Data Book. pag 8-28 a 8-59.
- Noble Ben. 1969. Applied Linear Algebra. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey. 523 pp.
- Omega. 1988. Omega Complete Temperature Measurement Handbook and Encyclopedya. pag. T-5 a T-23.
- Ryan Instrument. 1985. Ryan Tempmentor Operating and Reference Manual. pag. 3-1.
- Yellow Spring Instrument Co., Inc. 1986. Temperature Humidity Oxygen Pressure Instrument and Sensor. pag. 1-13 a 1-17

APENDICE I

DIAGRAMAS ELECTRONICOS



Derechos Reservados

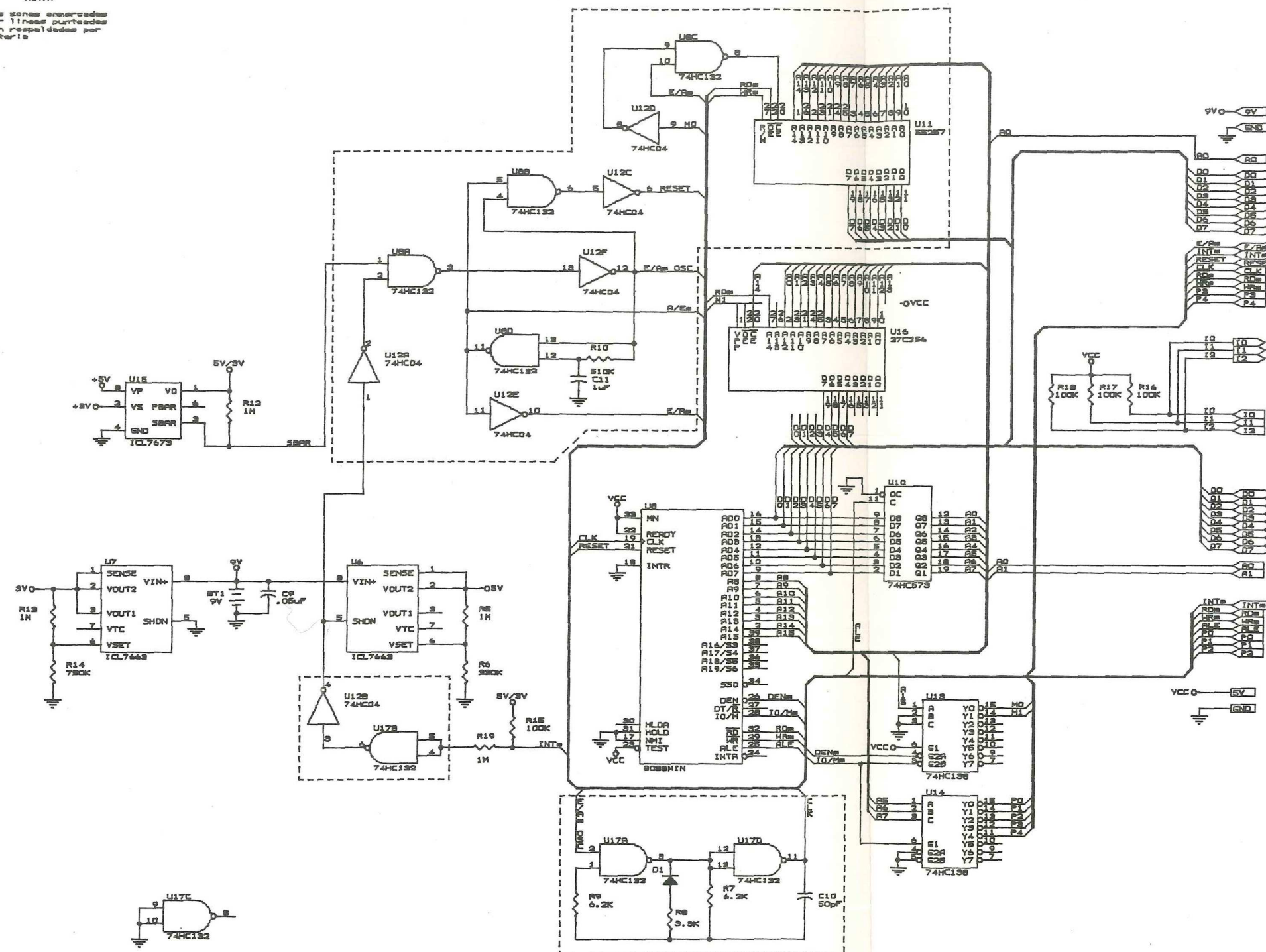
Oscar
López

TERMÓGRAFO DIGITAL SUBMARINO		
Diseñado en CICESE por: Oscar Roberto López Bonilla como tema de Tesis de Maestría		
Title		
Modulo A		
Size	Document Number	REV
B	1	2.0
Date: Noviembre 24, 1988		Sheet 1 of 3

Las zonas enmarcadas por líneas punteadas son respaldadas por batería.

Derechos Reservados

Oscar
López



TERMOGRAFO DIGITAL SUBMARINO		
Desinado em CIESE por: Oscar Roberto Lopez Bonilla como Tese de Tese de Maestria		
Titulo		
Modulo B		
Siso	Document Number	REV
C	2	2.0
Data: Novembro 24, 1988 Sheet 2 of 3		

Oscar
López

