

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
*Escuela de Ingeniería Eléctrica*

T-UES  
1504  
A 489d  
1993  
EJ. 2



TRABAJO DE GRADUACION

**"Diseño y Construcción de un  
Instrumento Simulador de  
Termocuplas Programable"**

PRESENTADO POR:

*Jaime Orlando Amaya Quintanilla  
José Wilber Calderón Urrutia*

PARA OPTAR AL TITULO DE

**INGENIERO ELECTRICISTA**

FEBRERO DE 1993



1510110  
1510110

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTRO AMERICA.

*Rec. 24 febrero/92*

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR : DR. FABIO CASTILLO FIGUEROA

SECRETARIO GENERAL : MIRNA ANTONIETA PERLA DE ANAYA

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

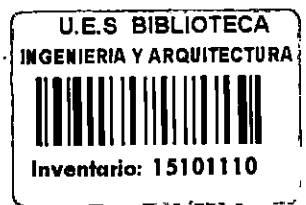
DECANO: ING. JUAN JESUS SANCHEZ SALAZAR

SECRETARIO : ING. JOSE RIGOBERTO MURILLO CAMPOS

ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA

DIRECTOR: ING. RICARDO ERNESTO CORTEZ

SECRETARIO: ING. JORGE GALDAMEZ



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA

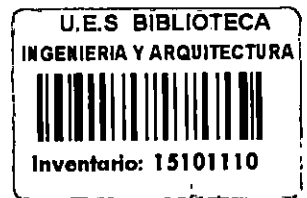
Trabajo de Graduación previo al grado de:

**INGENIERO ELECTRICISTA**

Presentado por:

Jaime Orlando Amaya Quintanilla

José Wilber Calderón Urrutia



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA

Trabajo de Graduación previo al grado de:

**INGENIERO ELECTRICISTA**


Presentado por:


Jaime Orlando Amaya Quintanilla

José Wilber Calderón Urrutia

Trabajo de Graduación aprobado por:

Coordinador:   
Ing. José Aquiles Rodríguez

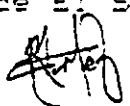

Asesor:   
Ing. Ricardo Ernesto Cortés

Asesor:   
Ing. Osbaldo Campos

ACTA DE CONSTANCIA DE NOTA Y DEFENSA FINAL

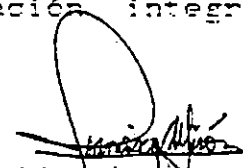
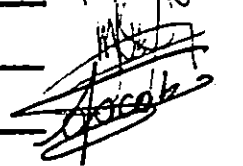
En esta fecha, 12 de Febrero de 1993  
en el local de Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica  
a las 15:00 horas, con la presencia de las siguientes autoridades de la  
Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador:

- 1- Ing. Ricardo E. Cortez  
Director E.I.E.
- 2- Ing. Jorge A. Galdámez  
Secretario E.I.E.
- 3- \_\_\_\_\_

  
Firma  


Y con el Honorable Jurado de evaluación integrado por las personas  
siguientes:

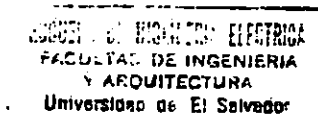
- 1- Ing. Francisco Girón
- 2- Ing. Mauricio Quiñónez
- 3- Ing. Pompilio Escobar
- 4- \_\_\_\_\_
- 5- \_\_\_\_\_
- 6- \_\_\_\_\_

Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de  
Graduación: "DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN INSTRUMENTO SIMULADOR DE TERMOCUPLAS PROGRA-  
MABLE"

a cargo del (los) Br(es): JAIME ORLANDO AMAYA QUINTANILLA y  
JOSE WILBER CALDERON URRUTIA.

Habiendo obtenido el presente trabajo una nota final global de 7.8  
Diez Puntos Ocho



## DEDICATORIA.

" Porque Jehová da la sabiduría, y de su boca viene el conocimiento y la inteligencia".

PROVERBIOS 2:6

A DIOS, porque EL es el todo de esta vida.

A MIS PADRES, Carlos Armando Amaya y Francisca Quintanilla de Amaya, con todo el amor del mundo.

A MIS HERMANOS, con cariño y respeto.

A TODOS MIS SERES QUERIDOS.

JAIME ORLANDO AMAYA Q.

## DEDICATORIA

AL PADRE CELESTIAL, por las bendiciones recibidas.

A MI HERMANA, quien siempre fue ejemplo de superación.

A MI ESPOSA, que nunca dejó de motivarme para llegar hasta el final.

A MIS TIOS, que jamás dijeron que no cuando necesite de su ayuda.

Especialmente este logro profesional es dedicado a una persona que toda su vida estuvo llena de sacrificios, para que en la mía no hubieran tantos. Que por medio de sus esfuerzos me lograra librar de trabajos físicos; a quien siempre se esmeró para que yo llegara a disfrutar de los privilegios del estudio.

No hay palabras como expresarlo; simplemente se lo dedico a Rosario Urrutia...

MUCHAS GRACIAS QUERIDA MADRE.

JOSE WILBER CALDERON URRUTIA.  
"Sam Urrutia"

## AGRADECIMIENTOS.

Un Agradecimiento muy especial al Ing. José Aquiles Rodríguez, coordinador del Trabajo de Graduación por su constante ayuda y apoyo en el desarrollo de la tesis.

A la Empresa ENERGYA S.A. de C.V., por la ayuda y comprensión brindado para la satisfactoria finalización del trabajo, especialmente a su propietario Ing. Sergio Campos, su esposa y personal administrativo.

MUCHAS GRACIAS.



## PREFACIO

El trabajo a nivel de Laboratorio con transductores térmicos tal como la Termocupla, representa un trabajo bastante delicado por la dificultad de controlar exactamente la temperatura; el "Simulador de Termocuplas Programable", se plantea como una herramienta accesible para controlar de manera exacta, sin necesidad de manejar parámetros térmicos, el funcionamiento de una termocupla y su respuesta: El Voltaje.

El objetivo del presente trabajo es proveer un equipo capaz de suplir las necesidades en el laboratorio para el manejo de transductores térmicos, el cual tiene un banco de datos residente y la opción de programar nuevos datos de acuerdo a las necesidades del usuario, lo cual fue establecido previamente en los alcances del proyecto.

Se espera que este Trabajo de Graduación cumpla con las metas trazadas y sea de mucha utilidad para quien tenga la oportunidad de usarlo.

## RESUMEN DEL TRABAJO

El "Simulador de termocuplas Programable" es un dispositivo construido en base a los conceptos termoeléctricos y usando como medio la Electrónica Digital, utilizando componentes como: EPROM, EEPROM, multiplexores, inversores, etc. Este dispositivo es capaz (como su nombre lo indica) de simular el comportamiento de una termocupla, que puede ser del tipo T, J, K, R o. S, tipos que representan los datos almacenados en la memoria residente. Este proceso de simulación tiene como datos de entrada la temperatura de funcionamiento y el tipo de Termocupla obteniéndose como resultado un Voltaje analógico acorde a los datos accedidos, el cual puede ser corroborado consultando las tablas de comportamiento mostradas en el Apéndice A-1.

Además el equipo tiene la versatilidad de poder programarse con una tabla de datos nueva, diferente a las almacenadas en la memoria residente, y realizar el proceso de simulación de igual manera.

# TABLA DE CONTENIDO

Pág.

## CAPITULO I

### LA TERMOCUPLA: CONCEPTOS FUNDAMENTALES

1.1	Introducción .....	1
1.2	La Termocupla: Definiciones y Características .....	1
	Efecto Seebeck .....	2
	Leyes Termoeléctricas .....	3
	Fabricación de la Unión Caliente .....	4
	Termocuplas Encapsuladas y no Encapsuladas .....	5
	Tipos de Termocuplas y Curvas .....	6
1.3	Circuitos de Compensación .....	9
	Descripción de Técnicas .....	10
	Cambio de Referencia .....	10
	Baño de Hielo o Aceite .....	10
	Compensación por Resistencia Variable con la Temperatura .....	11
1.3.1	Circuitos de Medición .....	15
	Circuito Galvanométrico .....	15
	Circuito Potenciométrico .....	16
1.3.2	Criterios de Selección, Características de Construcción .....	18
1.3.2.1	Consideraciones de Diseño .....	18
1.3.2.2	Características de Construcción .....	18
1.4	Aplicaciones en la Industria Salvadoreña .....	19
1.4.1	Horno Tunel .....	19
1.4.2	Pirómetro FEESA ( Impresora ) .....	23
	CONCLUSIONES .....	24
	BIBLIOGRAFIA .....	25

## CAPITULO II

### CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE CIRCUITOS DIGITALES

2.1	Introducción .....	26
2.2	Convertidores Digital/Analógicos .....	26
2.2.1	Generalidades .....	26
2.2.2	Características y Especificaciones del CDA .....	27
	Resolución del CDA .....	28
	Código de entrada BCD .....	29
	Estructura Interna Básica de un CDA .....	30
	Exactitud de la Conversión .....	31

2.3	Memorias .....	31
2.3.1	Generalidades .....	31
2.3.2	Memorias de solo Lectura ( ROM ) .....	32
2.3.2.1	Memoria de solo Lectura Programable y Borrable a través de luz ultravioleta ( UV ) .....	32
2.3.2.2	Memoria de solo Lectura Programable y Borrable Eléctricamente ( EEPROM ) .....	33
	Criterios de Selección de una EEPROM .....	34
	Métodos de Programación de una EEPROM .....	34
	Programación de una EEPROM .....	35
	CONCLUSIONES .....	40
	BIBLIOGRAFIA .....	41

### CAPITULO III

#### DESCRIPCION TEORICA DEL DISEÑO A IMPLEMENTAR

3.1	Introducción .....	42
3.2	Descripción del Diseño .....	42
3.2.1	Descripción de Elementos .....	43
3.2.2	Descripción del Diagrama de Bloques .....	44
3.2.3	Descripción del Funcionamiento por Etapas .....	46
3.2.3.1	Entrada de datos .....	46
3.2.3.2	Convertidor de BCD a Binario .....	48
3.2.3.3	Lectura de Datos para la Memoria Residente .....	50
3.2.3.4	Lectura y Programación de Datos para la Memoria Programable .....	55
3.2.3.5	Salida de Datos Digital .....	55
3.2.3.6	Salida de Datos Analógica .....	57
3.3	Circuitaria Final .....	58
3.4	Fuente de Alimentación .....	58
	CONCLUSIONES .....	60
	BIBLIOGRAFIA .....	61

### CAPITULO IV

#### MANUAL DEL USUARIO DEL SIMULADOR DE TERMOCUPLAS

4.1	Introducción .....	62
4.2	Descripción Física del Dispositivo .....	62
4.2.1	Descripción de la Presentación del Equipo .....	62
4.3	Lineamientos para el uso .....	64

4.4	Limitaciones	66
4.5	Aplicaciones	66
	CONCLUSION	67
	CONCLUSIONES GENERALES	68
	RECOMENDACION	69
	APENDICE	70

## INDICE DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1.1. Características de Termocuplas .....	7
TABLA 1.2. Materiales Comunes para Protección de Termocuplas .....	19
TABLA 1.3. Guia para la Selección de Tubos de Protección .....	20
TABLA 3.1. Tabla de Elección del Tipo de Ter- mocupla .....	50

## INDICE DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1.1. Circuito de Simple de Termocupla .....	2
FIGURA 1.2. Medición Práctica con un Sistema de Termocupla empleando un tercer alambre para llevar la FEM al dis- positivo de medición .....	4
FIGURA 1.3. Tipos de encapsulado de Termocuplas .....	5
FIGURA 1.4. Curvas FEM vrs. Temperatura para tipos comerciales de termocuplas .....	8
FIGURA 1.5. Circuito de compensación de la unión de Referencia, en el cual una R de- pendiente de la temperatura es usada .....	11
FIGURA 1.6. Fuente de corriente constante en un circuito de compensación .....	12
FIGURA 1.7. Circuito de compensación de la unión de Referencia tipo resistencia .....	13
FIGURA 1.8. Curva típica FEM vrs. Temperatura de una Termocupla .....	14
FIGURA 1.9. En la curva, los puntos finales son usados para determinar la línea de compensación. ....	15
FIGURA 1.10 Circuito Galvanométrico .....	16
FIGURA 1.11 Circuito Potenciométrico .....	17
FIGURA 1.12 Tubos de Protección para Termocuplas .....	21
FIGURA 1.13 Esquema de Regulación de un Horno. Túnel típico .....	22
FIGURA 2.1. Convertidor Digital Analógico de 4 Bits con salida de voltaje .....	28
FIGURA 2.2. CDA que utiliza código de entrada BCD .....	29
FIGURA 2.3. Estructura básica de una CDA .....	30
FIGURA 2.4. Condiciones de Funcionamiento de una EEPROM .....	36
FIGURA 2.5. Primer paso, Cargar las direcciones en los pines de direccionamiento .....	36
FIGURA 2.6. Segundo paso, cargar los datos en los pines de entrada de datos .....	37
FIGURA 2.7. Tercer paso, Inhibir el pin de habili- tación de Salida .....	37
FIGURA 2.8. Cuarto paso, aplicar el voltaje de Programación .....	38
FIGURA 2.9. Quinto paso, aplicar el pulso de pro- gramación a la EEPROM .....	39

FIGURA 2.10	EEPROM 2816: a). Pin-Out b). Compor- tamiento de los pines en las diferen- tes modalidades .....	39
FIGURA 3.1.	Diagrama de Bloques .....	45
FIGURA 3.2.	Lógica para Entrada de Datos .....	47
FIGURA 3.3.	Convertidor de BCD a Binario .....	49
FIGURA 3.4.	Lógica de Lectura para memoria residente .....	51
FIGURA 3.5.	Módulo para memoria residente .....	53
FIGURA 3.6.	Lógica de selección del tipo de Termocupla .....	54
FIGURA 3.7.	Alarma de Control al seleccionar dos tipos de termocupla .....	54
FIGURA 3.8.	Lógica de Programación .....	56
FIGURA 3.9.	Convertidor de Binario a BCD .....	57
FIGURA 3.10	Fuente de Alimentación .....	59
FIGURA 4.1.	Presentación física del Dispositivo .....	63



# CAPITULO I

## LA TERMOCUPLA: CONCEPTOS FUNDAMENTALES

### 1.1 Introducción.

Generalmente, en el campo de las aplicaciones termoeléctricas, se consideran los cambios de la resistencia eléctrica en función de la temperatura. De tal modo que el cambio de la resistencia es considerado como un parámetro variable, por lo que la medición de la resistencia refleja un valor de temperatura. Existen otras dependencias del comportamiento eléctrico con la temperatura, a partir de las cuales se pueden ampliar escalas de medición. Este efecto es caracterizado por un transductor<sup>1</sup> generador de voltaje, en el cual la FEM producida, es proporcional a la temperatura y cuya relación es aproximadamente lineal. Los dispositivos que miden temperatura basados en el fundamento de este principio termoeléctrico son llamados termocuplas.

### 1.2 La Termocupla: Definiciones y características.

La termocupla es un dispositivo para la medición de temperatura basado en el descubrimiento de Seebeck, que establece que una corriente eléctrica fluye en un circuito continuo formado por alambres de diferentes metales, si las uniones entre estos dos alambres se encuentran a diferentes temperaturas. La termocupla es comúnmente usada en aplicaciones industriales, en elementos para medición de temperatura, ya que es muy simple y de bajo costo, y por que la combinación de diversos materiales están siendo desarrolladas para el uso en un amplio rango de temperaturas.

Un circuito simple de termocupla es mostrado en la figura 1.1. La corriente termoeléctrica  $I$  fluye en el circuito cuando las uniones están a temperaturas  $T_1$  y  $T_2$ , respectivamente. Si  $T_1$  es la unión de referencia ( fría ) y la corriente fluye en la dirección mostrada, el conductor A es considerado termoeléctricamente positivo con respecto a B.

---

<sup>1</sup> Dispositivo capaz de convertir en energía eléctrica, algunos parámetros físicos.

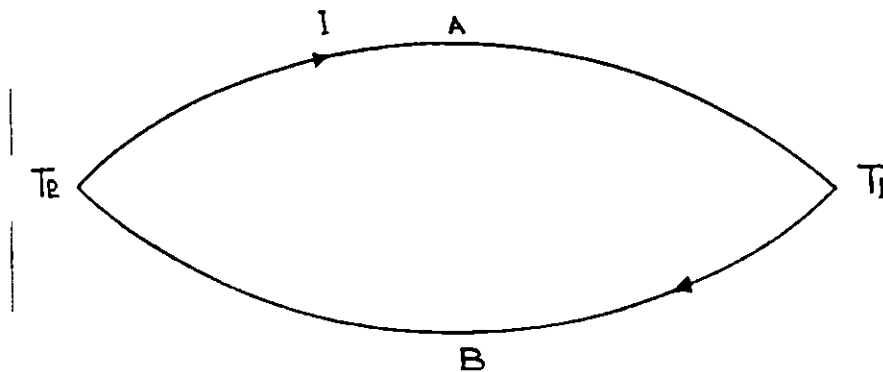


FIGURA 1.1: Circuito simple de termocupla.

Efecto Seebeck.

Este efecto puede ser descrito a partir de la teoría de estado sólido, demostrando que la FEM producida en una termocupla está dada por la integral sobre temperatura:

$$\epsilon = \int_{T_1}^{T_2} (Q_A - Q_B) dT \quad (1.1)$$

Donde:

- $\epsilon$  = FEM producida en voltios
- $T_1, T_2$  = Temperaturas de las uniones en grados kelvin
- $Q_A, Q_B$  = Constante de transporte térmico de los materiales

La ecuación 1.1, la cual describe el efecto Seebeck, muestra que la FEM producida es directamente proporcional al cambio de temperatura y además, a la diferencia de las constantes de transportación térmica, de tal modo que si los materiales y/o las temperaturas son iguales, la FEM es cero.

En la práctica las constantes  $Q_A$  y  $Q_B$ , son casi independientes a la temperatura, por lo que puede darse una aproximación lineal de la ecuación 1.1:

$$\epsilon = \alpha \cdot (T_2 - T_1) \quad (1.2)$$

Donde:

$\alpha$  = Constante V/°K  
 $T_1, T_2$  = Temperaturas en la uniones en °K

Sin embargo, para temperaturas pequeñas se necesita de  $Q_A$  y  $Q_B$  para consideraciones de mayor precisión.

El efecto Seebeck es la combinación de dos efectos denominados, el efecto Peltier y el efecto Thompson.

El efecto Peltier, el cual es más importante, fue descubierto por Peltier en 1834 cuando mostró que calor es liberado o absorbido cuando una corriente fluye a través de la unión entre dos metales diferentes. Este es un efecto reversible, medido en watts por amperios, y depende de la temperatura de la unión (gradiente de temperatura).

El efecto Thompson, también reversible, establece que, corriente fluye a través de materiales homogéneos en los cuales existe un gradiente de temperatura para absorción o liberación de calor. Aunque el "voltaje Thompson" es pequeño, ésta es una razón de peso por lo que las curvas FEM vrs. temperatura de una termocupla no son lineales.

La combinación de los dos efectos, de Peltier y de Thompson, es la causa de la circulación de corriente al cerrar el circuito en la termocupla.

Estudios realizados sobre el comportamiento de termocuplas han permitido establecer tres leyes fundamentales:

1) Ley de los circuitos homogéneos:

Una corriente eléctrica no puede ser sostenida en un circuito formado por un solo metal simple homogéneo mediante la aplicación de calor.

El significado práctico de esta ley es que en una termocupla, construida de dos materiales homogéneos, la FEM es independiente de la distribución del gradiente de temperatura pero depende sólo de la temperatura de las uniones.

2) Ley de los metales intermedios:

Si en un circuito de varios conductores la temperatura es uniforme desde un punto de soldadura A a otro punto B, la suma algebraica de todas las fuerzas electromotrices es

totalmente independiente de los conductores metálicos intermedios y es la misma que si se pusieran en contacto A y B.

### 3) Lev de las temperaturas sucesivas:

La FEM generada por una termocupla con sus uniones a las temperaturas  $T_1$  y  $T_3$  es la suma algebraica de la FEM de la termocupla con sus uniones a  $T_1$  y  $T_2$  y de la FEM de la misma termocupla con sus uniones a las temperaturas  $T_2$  y  $T_3$ .

Una configuración utilizada como termocupla es la mostrada en la figura 1.2.

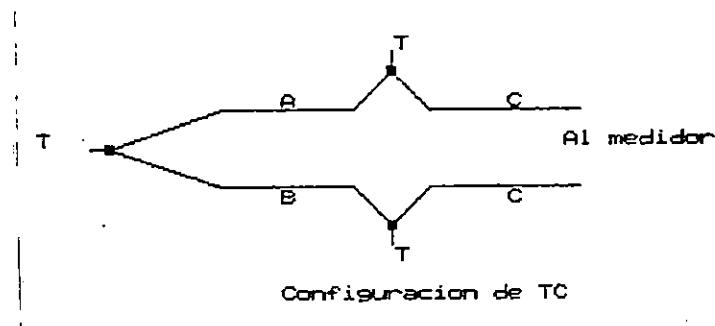


FIGURA 1.2. Medición práctica con un sistema de termocupla empleando un tercer alambre para llevar la FEM al dispositivo de medición.

### Fabricación de la unión caliente de la termocupla.

La unión caliente debe ser conectada por cualquier medio que asegure una buena conductividad eléctrica al usarlo. Comúnmente, los dos alambres son entorchados (enrollados) y unidos con una soldadura de plata. Los alambres podrán ser soldados completamente. El empalme simple de los alambres provee una adecuada conexión para términos cortos usados en atmósferas limpias y bajas temperaturas.

### Termocuplas encapsuladas y no encapsuladas.

Muchas aplicaciones ahora usan un método para el cual la construcción de termocuplas, el elemento aislante y el estuche de protección forman un ensamble monolítico.

Los alambres de termocupla se enrollan a través de aislantes de aluminio o magnesio, y son insertados en un estuche metálico de protección.

Por medio del encapsulado el aislamiento se hace más compacto y se reduce al tamaño del estuche final. Los diseños comunes de uniones calientes usadas en estas termocuplas son ilustrados en la figura 1.3.<sup>2</sup>

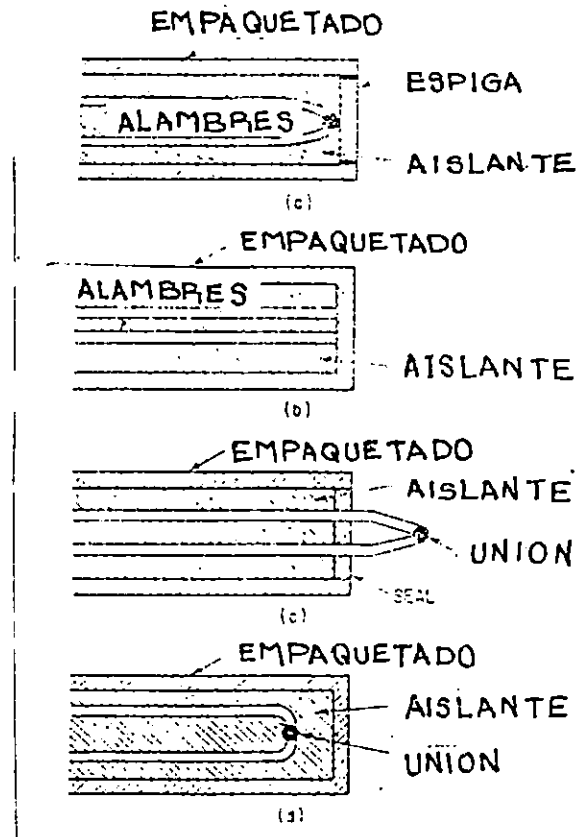


FIGURA 1.3. Tipos de encapsulado de termocuplas.

<sup>2</sup> Un estudio más profundo de este tópico se hará posteriormente.

### 1.2.1 Tipos de Termocupla y Curvas.

En base a las leyes termoeléctricas estudiadas anteriormente, se hace evidente que en un circuito de una termocupla se desarrolla una FEM proporcional a la temperatura de la unión de medida, siempre que haya una diferencia de temperaturas con la unión de referencia. Los valores de esta FEM están tabulados en tablas de conversión con la unión de referencia a 0°C, los cuales son presentadas en el apéndice A-1.

Ciertas configuraciones estándar de termocuplas usando materiales específicos (o aleaciones de metales) han sido adoptados y tienen letras que las designan; ejemplos son mostrados en la tabla 1.1. Cada tipo tiene su distintivo particular tales como rango, linealidad, utilización en medios hostiles, sensibilidad; y son escogidos para aplicaciones específicas. En cada tipo, varios tamaños de conductores, pueden ser empleados en casos específicos tales como medición de hornos, medición de alta localización, entre otros.

Las curvas de voltaje vrs. temperatura son mostradas en la figura 1.4, para una temperatura de referencia de 0°C y para varios tipos de termocuplas.

Comparando varias características importantes en base a las curvas se observa:

En primer lugar los tipos J y K tienen pendientes grandes, de tal manera que reflejan alta sensibilidad, logrando mediciones fáciles para un cambio dado de temperatura. Se aprecia que en los tipos R y S tienen una pendiente muy pequeña y tienen baja sensibilidad. Estos tienen una significativa ventaja que es la de proporcionar rangos grandes de medición, que incluyen temperaturas muy elevadas. Otra característica importante de las termocuplas es que no son exactamente lineales. Pero la obtención de una exactitud inherente de estos dispositivos, los provee de una gran ventaja; amplias tablas de voltaje vrs. temperatura están determinadas para muchos tipos.

### 1.2.2 Características de uniones de termocuplas.

La unión de referencia debe ser mantenida a una temperatura constante conocida o una compensación automática de la FEM de la termocupla para cambios de la temperatura de la unión

Tabla 1.1. Características de Termocuplas.

TIPO	INTERVALO DE MEDIDA	FEM (mV)/°C	LIMITE DE ERROR DE LA TERMOCUPLA		LIMITES DEL CABLE DE EXTENSION	
			NORMAL	OBTIMO	TEMPERATURA	ERROR NORMAL
Cobre Constantán Tipo T	-185°C a -60°C -60°C a +95°C +95°C a 370°C	0.052	±2.0% ±0.8% ±0.75%	±1.0% ±0.4% ±0.37%	-60 a 95°C	±0.8°C
Hierro Constantán Tipo J	0°C a 425°C 425°C a 750°C 0°C a 300°C 300°C a 550°C	0.055	±2.2°C ±0.5°C	±1.1°C ±0.3°C	0 a 200°C	±2.2°C
Cromel Alumel Tipo K	0°C a 400°C 400°C y más	0.04	±3.0°C ±0.75°C		0 a 200°C	
Cobre constantán Hilo de extensión					0 a 200°C	±5.0°C
Pt-Pt/Rh 13% Tipo R	0°C a 1,100°C 1,100°C a 1,400°C 1,400°C a 1,600°C	0.012	±1.0°C ±2.0°C ±3.0°C		25 a 200°C	±6.0% ó ±5.0°C
Pt-Pt/Rh 10% Tipo S	0°C a 1,100°C 1,100°C a 1,400°C 1,400°C a 1,600°C	0.010	±1.0°C ±2.0°C ±3.0°C		25 a 200°C	±6.0% ó ±5.0°C

de referencia debe ser usada. En el laboratorio, un baño helado de la unión de referencia es usual.

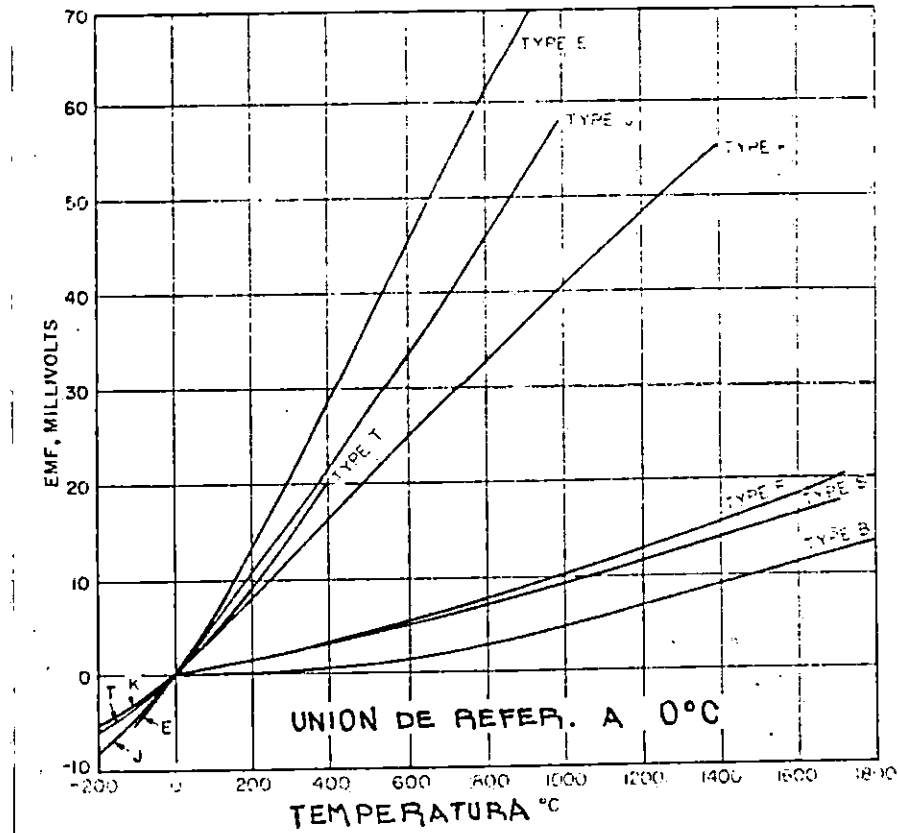


FIGURA 1.4: Curvas FEM vs. temperatura para tipos comerciales de termocupla.

Para aplicaciones industriales, la compensación automática es usualmente provista para la compensación de efectos de fluctuaciones en la temperatura de la unión de referencia. En milivoltios, una espiral bimetalica mueve la aguja en respuesta a los cambios de la temperatura ambiente; o una FEM es inyectada en el circuito de la termocupla por medio de un elemento que responde a la temperatura, tal como una resistencia de niquel, un termistor o un diodo. En mediciones potenciométricas, la compensación eléctrica es exclusivamente usada. En algunos sistemas, particularmente en el laboratorio, un horno controlado debe ser usado para mantener constante la temperatura de la unión de referencia.



### 1.3 Circuitos de Compensación.

Esta es una técnica con la cual las variaciones en la temperatura de la unión de referencia de una termocupla, son manual o automáticamente tomadas en cuenta en la determinación de la temperatura de la unión de medida.

El voltaje que aparece a través de los terminales de la termocupla es proporcional<sup>3</sup> a la diferencia de temperatura entre las uniones de medición y de referencia. La unión de medida, está formada por dos tipos de alambres, que están soldados, los que definen el tipo de termocupla. La unión de referencia es la unión donde los alambres de la termocupla, están conectados a dos terminales construidos del mismo material ( usualmente cobre ). El circuito es entonces conectado por un alambre de cobre normal hacia el dispositivo de medición.

El voltaje que aparece a la entrada del dispositivo de medición es proporcional a la diferencia de temperatura entre las uniones de referencia y de medición; ejemplo:  $\epsilon = \alpha \cdot (T_2 - T_1)$  para una temperatura constante en la unión de medición, cambios en la temperatura de la unión de referencia producirá un voltaje erróneo, a la entrada del dispositivo de medición. La influencia de un cambio de temperatura de la unión de referencia, sobre la exactitud de la medición es inversamente proporcional a la lectura del instrumento de medición (voltaje generado).

Varias técnicas pueden ser empleadas para compensar el cambio de temperatura en la unión de referencia, entre éstas están:

- 1) Usando una tabla de corrección de temperaturas.
- 2) Manteniendo la unión de referencia a una temperatura fija. (ejemplo, un baño de hielo o baño de aceite).
- 3) Haciendo pasar una corriente constante a través de una resistencia dependiente de la temperatura en el circuito de medición.
- 4) Haciendo pasar una corriente dependiente de la temperatura a través de una resistencia constante en el circuito de medición.

---

<sup>3</sup> Teniendo presente que la relación entre la temperatura y la FEM generada, es no lineal.

## Descripción de Técnicas.

### 1) Cambio de referencia.

Anteriormente la elaboración de las tablas de termocuplas estaban preparadas para una temperatura de unión de referencia en particular. Para el uso de estas tablas a temperaturas de referencia diferentes, se hace necesario un cambio adecuado de escala. El punto fundamental a recordar es que el voltaje es proporcional a la diferencia entre las temperaturas de la termocupla. Así, si una nueva referencia es mayor que la utilizada en la creación de la tabla, todos los voltajes de la tabla serán más pequeños para esta termocupla.

Supongamos que tenemos una termocupla tipo J con una referencia de 30°C. En la tabla con una referencia de 0°C, un tipo J a 30°C produce 1.54 mV. Esto significa que cualquier temperatura con este termocupla generará un voltaje menor a 1.54 mV de aquellos en la tabla. Así, refiriéndose a la tabla del apéndice A-1:

$$\begin{aligned} 400^{\circ}\text{C} & ; V = 21.85 - 1.54 = 20.13 \text{ mV} \\ -90^{\circ}\text{C} & ; V = -4.21 - 1.54 = -5.93 \text{ mV} \end{aligned}$$

De modo similar, si una nueva referencia es menor, todos los voltajes serán más grandes. Como un ejemplo de esto, considere una termocupla tipo K con una referencia de -25°C. Primero por interpolación, encontramos el voltaje que corresponde a 0°C de referencia.

$$V(-20^{\circ}\text{C}) = -0.96 \text{ mV} \quad (\text{tipo K, } 0^{\circ}\text{C de referencia})$$

Así, todos los voltajes de la tabla deben incrementarse 0.96 mV.

### 2) Baño de Hielo o de Aceite.

El objetivo de esta técnica es para mantener una temperatura constante en la unión de referencia, a pesar de las fluctuaciones en la temperatura ambiente.

### 3) Compensación por resistencia variable con la temperatura.

Haciendo pasar una corriente constante a través de una resistencia dependiente de la temperatura es una técnica común y será descrita en detalle.

Una resistencia hecha de alambre de cobre cambiará su valor con la temperatura de una manera predecible.

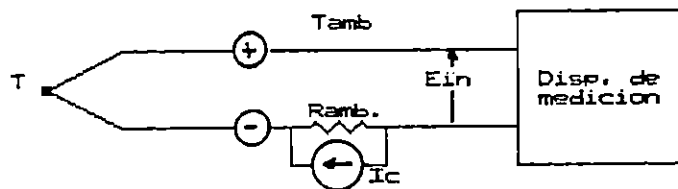


FIGURA 1.5: Circuito de Compensación de la unión de referencia, en el cual una resistencia dependiente de la temperatura es usada.

En la figura 1.5 el voltaje a través de la resistencia de cobre: la  $R_{AMB}$  es:

$$V_R = I_c \cdot R_{T_0} \cdot [ 1 + \alpha \cdot (T_{AMB} - T_0) ]$$

Donde:

- $R_{T_0}$  = Resistencia a temperatura  $T_0$ .
- $T_{AMB}$  = Cualquier temperatura ambiente.
- $\alpha$  = Coeficiente de temperatura de la resistencia de cobre.
- $I_c$  = Una corriente constante determinada por: los límites de temperatura ambiente sobre los cuales la resistencia de la unión de referencia debe compensar, y por el tipo de termocupla y otras consideraciones del circuito de medición.

La corriente constante puede ser provista por una red mostrada en la figura 1.6. En este circuito:

$$V_{CVU} = ( R_{GRANDE} + R_{Cu} ) \cdot I_c$$

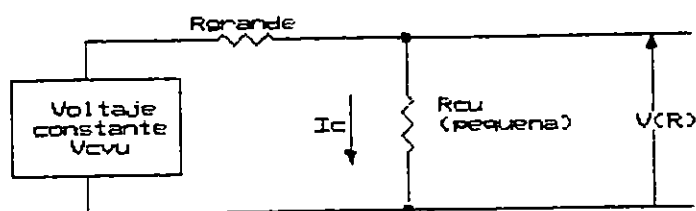


FIGURA 1.6: Fuente de corriente constante en un circuito de compensación.

Grandes cambios en  $R_{cu}$  producirá cambios insignificantes en  $I_c$ . Así, para propósitos prácticos, un generador de corriente constante es obtenido.

De esta manera se obtienen, dos tipos de voltaje, uno dependiente y otro independiente de la temperatura. La expansión de la relación voltaje corriente muestra este hecho.

$$V_R = I_c \cdot R_{T_0} \cdot [ 1 + \alpha \cdot ( T_{AMB} - T_0 ) ]$$

$$R_{T_0} = R_{cu} \text{ a } T = T_0$$

$$V_R = \underbrace{I_c \cdot R_{T_0}}_{\text{Temp. Independiente}} + \underbrace{I_c \cdot R_{T_0} \cdot \alpha \cdot ( T_{AMB} - T_0 )}_{\text{Temp. Dependiente}}$$

El voltaje independiente de la temperatura puede ser tomado en cuenta para incluirlo en el diseño del circuito de medición del instrumento a utilizar; o éste puede ser anulado por un voltaje igual y opuesto, haciendo uso de un voltaje constante utilizado anteriormente.

El circuito de la figura 1.7, muestra la red completa de compensación. Si  $R_1$  y  $R_{GRANDE}$  están especificadas a un coeficiente de temperatura bajo,  $E_{IN}$  es ahora propiamente compensado, de tal forma que  $E_{IN} = f(T_{AMB} - T_0)$ , independiente de la oscilación de la temperatura ambiente a la que está sometida la unión de referencia. Lo único desconocido es  $V_T$  producido por  $I_c$  fluyendo a través de  $R_{cu}$ .

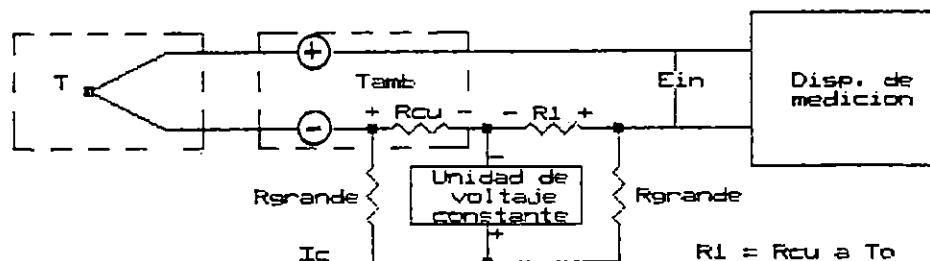


FIGURA 1.7: Circuito de compensación de la unión de referencia tipo resistencia.

En la figura 1.8 se muestra una curva típica FEM vs. temperatura de una termocupla. Con el circuito mostrado en la figura 1.7, una compensación lineal de voltaje será obtenida. sin embargo, la relación FEM vs. temperatura no es lineal, sino de la forma:

$$e(T) = a_n \cdot T^n + a_{n-1} \cdot T^{n-1} + \dots + a_1 \cdot T + a_0$$

Para tramos pequeños alrededor de un punto dado de la curva de la termocupla, ésta es aproximadamente lineal, y se obtiene un voltaje de compensación lineal extremadamente exacto. Para tramos mucho más amplios alrededor de un punto dado, se obtendrá un resultado más inexacto. El problema entonces consiste en minimizar el error promedio.

En la figura 1.8 el error más grande ocurrirá en  $T_A$ ,  $T_o$  y  $T_B$ . En la figura 1.9, el error más grande ocurrirá en  $T_o$  y los puntos extremos de la variación de la temperatura ambiente son usados para determinar la línea de compensación. En la figura 1.8, dos puntos intermedios  $T_1$  y  $T_2$  son elegidos tal que el error en  $T_A$  y  $T_B$ , es aproximadamente igual al error en  $T_o$ , por lo que el error más grande obtenido en este caso, será aproximadamente la mitad del error más grande obtenido en la figura 1.9.

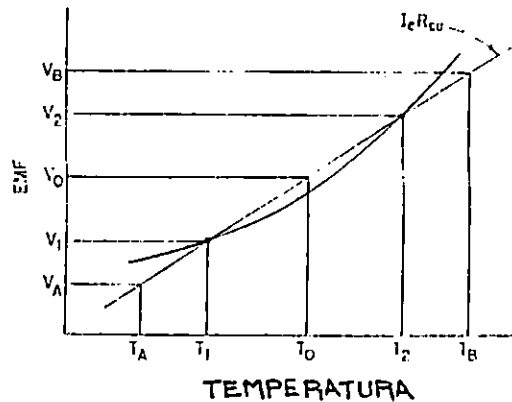


FIGURA 1.8: Curva típica FEM vrs. temperatura de una termocupla.

En disposición para calcular  $I_c$  para el error máximo permisible, se esboza la relación FEM vrs. temperatura para la temperatura ambiente sobre la cual se realizará la compensación. Luego se determina  $T_1$  y  $T_2$ , los cuales darán el error más pequeño alrededor de la línea de compensación. Correspondiendo a  $T_1$  y  $T_2$ , se obtendrán los voltajes  $V_1$  y  $V_2$ .  $(V_1 - V_2)$  y  $(T_1 - T_2)$  darán  $V$  y  $T$  respectivamente y escogiendo un valor para  $R_{cu}$  a  $T_0$  (en el orden de los  $10\Omega$ ). Realizando una elección apropiada para  $I_c$  se desarrolla:

$$\frac{\Delta V}{\Delta T} = I_c \cdot \frac{\Delta R_{cu}}{\Delta T}$$

Donde:  $\Delta R_{cu} = R_{T2} - R_{T1}$

$$\Delta R_{cu} = R_{T0} \cdot \alpha T$$

$$\frac{\Delta R_{cu}}{\Delta T} = \alpha \cdot R_{T0}$$

Entonces,

$$\frac{\Delta V}{\Delta T} = I_c \cdot \alpha \cdot R_{T0}$$

Resolviendo para  $I_c$ :

$$I_c = \frac{\Delta V}{\Delta T} \cdot \frac{1}{\alpha \cdot R_{T_0}}$$

Donde:  $\Delta V = V_2 - V_1$  y  $\Delta T = T_2 - T_1$

$$I_c = \frac{V_2 - V_1}{T_2 - T_1} \cdot \frac{1}{\alpha \cdot R_{T_0}}$$

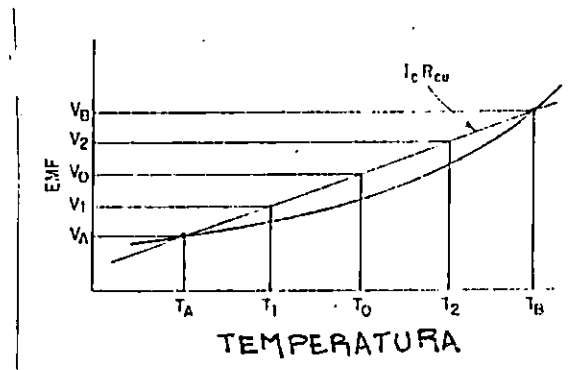


FIGURA 1.9: En la curva, los puntos finales son usados para determinar la línea de compensación.

### 1.3.1 Circuito de medición.

Para medir la FEM generada por una termocupla pueden emplearse dos tipos de circuitos: el galvanométrico y el circuito potenciométrico.

#### Circuito galvanométrico:

El circuito galvanométrico se basa en la desviación de una bobina móvil situada entre dos polos de un imán permanente al pasar a su través la corriente del elemento primario. El paso de esta corriente produce un campo magnético que se opone al del imán permanente, y la bobina móvil gira hasta que el par magnético correspondiente es equilibrado por el par de tensión del muelle, como se muestra de la figura 1.9.

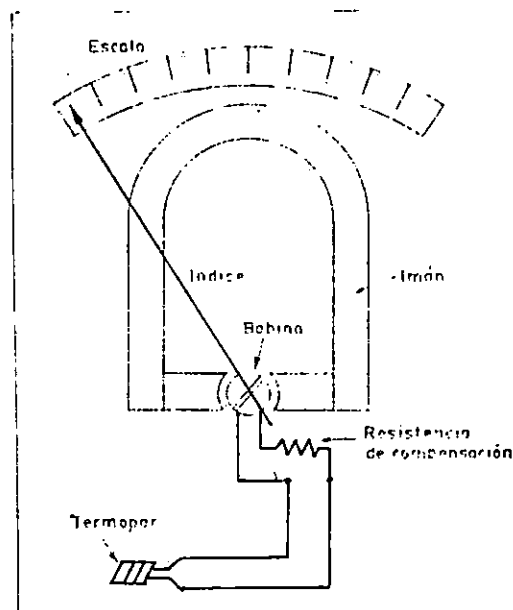


FIGURA 1.10: Circuito Galvanométrico.

Una aguja indicadora, que está unida rigidamente a la bobina móvil, se desplaza a lo largo de una escala graduada, calibrada en las unidades de medida.

Es importante señalar que los circuitos galvanométricos no son demasiado afectados por las corrientes parásitas de C.A. ya que el amortiguamiento normal que poseen filtra muy bien las señales parásitas de alta frecuencia. En cambio, las señales parásitas de C.C. dan lugar a un corrimiento del cero del instrumento. Es, pues, recomendable que los cables de extensión se instalen bien separados de los cables de potencia de la planta, en particular en los casos de corriente continua de alta intensidad que circule por los cables de alimentación de maquinaria eléctrica de alta potencia.

#### Circuito Potenciométrico:

El circuito potenciométrico está representado en la figura 1.10, el cual consta de una fuente de tensión constante  $V$  que alimenta las dos ramas del circuito con corrientes  $I_1$  e



12. En la figura 1.10a la termocupla T está conectada a la rama inferior E y, a través de un miliamperímetro, al reóstato R. La posición R del cursor del reóstato R indica la temperatura del proceso cuando no pasa corriente por el miliamperímetro, es decir cuando el punto C del cursor y el punto E están a la misma tensión.

Por consiguiente, graduando el reóstato se dispondría de un instrumento de temperatura. Sin embargo, este método es poco práctico, y se incorpora al circuito un dispositivo de autoequilibrio que sustituye al miliamperímetro por un amplificador. Mientras exista una diferencia de potencial entre la FEM desarrollada por la termocupla y la tensión dada por el cursor del reóstato, el circuito amplificador excitará el motor de equilibrio hasta que la posición de cursor sea la correcta para la temperatura del proceso captado por la termocupla. Así, pues, la posición de cursor representa mecánicamente la FEM generada por la termocupla, y por lo tanto su temperatura. Es importante hacer notar que en este método, es necesario compensar las variaciones de la temperatura en la unión de referencia.

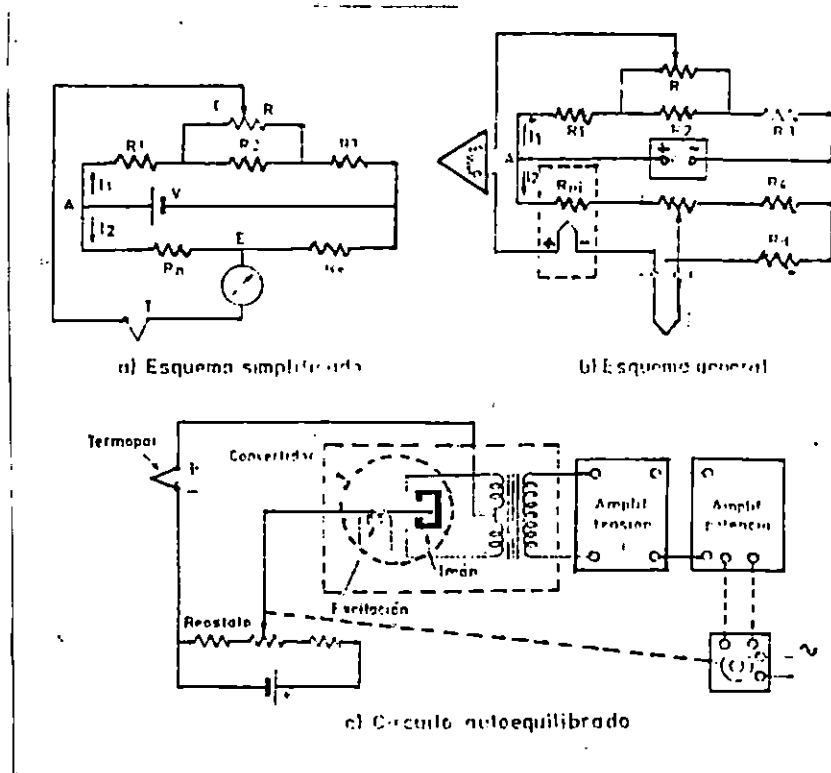


FIGURA 1.11: Circuito Potenciométrico.

### 1.3.2 Criterio de selección. Características de construcción.

#### 1.3.2.1 Consideraciones de diseño.

La selección de una termocupla es un compromiso que involucra muchos factores, incluyendo: 1) costo, 2) disponibilidad, 3) Resistencia a la corrosión, 4) FEM obtenida para un rango de operación de temperatura y 5) velocidad de respuesta. También debe asumirse, por supuesto, que la FEM de la termocupla debe incrementarse continuamente con respecto al incremento de la temperatura sobre el rango de uso y los puntos de unión de los metales deben estar a la temperatura de aplicación.

La selección del tamaño del alambre de la termocupla es siempre un compromiso de velocidad de respuesta, resistencia mecánica, y resistencia a la corrosión o contaminación. Los alambres de pequeño diámetro proporcionan alta velocidad de respuesta pero se quiebran fácilmente, se corroen, se tuercen, y desarrollan deformidades al trabajar mecánicamente o contaminación debido al contacto de materiales externos.

#### 1.3.2.2 Características de construcción.

Una termocupla es por si misma una unión soldada o entorchada de dos metales, el tamaño de los cuales esta determinada por la aplicación y puede variar desde alambre #10 para medios escabrosos hasta alambre fino AWG #30 o microalambre de 0.02 mm en precisas mediciones de temperatura en medios biológicos. Generalmente la termocupla es encapsulada en una cubierta protectora o sellada en vidrio para proteger la unidad de medios ostiles. Además la selección del tubo de protección es un compromiso que involucra costo, disponibilidad, velocidad de respuesta características mecánicas y químicas. Los diversos materiales de los tubos de protección y los límites de temperatura máxima aproximada son listados en la tabla 1.2. Además en la figura 1.12 se muestra las características físicas de una termocupla, y en la tabla 1.3 se dan los criterios para la selección de la protección de acuerdo al tipo de aplicación de la termocupla.

Tabla 1.2: Materiales comunes para protección de termocupla.

MATERIAL	MAXIMA TEMP. DE OPERACION EN °F	OBSERVACIONES
Carbón Acero	1000	Para fluidos no corrosivos.
Hierro Forjado	1200	Para fluidos no corrosivos.
Acero Puro	1800	Buena resistencia a la corrosión.
Niquel	1800	Excelente resistencia a la corrosión para algunos mat.
80% Ni, 14%Cr	1200	Resistencia a la corrosión excepto para sulfuros.
Silicón Alumina	3000	
Berilio	4000	Excelente resistencia a esfuerzos térmicos

#### 1.4 Aplicaciones en la Industria Salvadoreña.

En nuestro medio industrial existen muchas aplicaciones de producción y sistemas de control, que tienen mucho que ver con procesos térmicos, lo que nos lleva a la utilización de la termocupla como transductor idóneo a utilizarse en la solución a problemas que involucra esta área. A continuación de describirán algunas aplicaciones en las que la termocupla desempeña una función medular:

##### 1.4.1 Horno Túnel.

Los instrumentos de regulación y control forman parte integral de los equipos de proceso de la industria cerámica y en particular constituye una necesidad en el proceso de cocción de los productos cerámicos realizado en un horno túnel.

Tabla 1.3: Guia para la selección de tubos de protección.

<i>Industria</i>	<i>Aplicación</i>	<i>Tubo o vaina</i>
<b>Tratamientos térmicos</b>	Recocido Carburación Templado: < 700° C 700 a 1100° C > 1100° C Nitruración Baños de sales	Inconel o hierro Inconel  Hierro forjado Inconel o hierro Cerámico o pirómetro radiación Hierro Inconel, hierro o pirómetro radiación
<b>Hierro y acero</b>	Hornos de soplado Hogar Techo Calderas de recuperación Pisos de recalentamiento < 1100° C > 1100° C Palanquilla, calentamiento de planchas y soldadura a tope < 1100° C > 1100° C  Soldadura fuerte Recocido brillante  Forjado  Galvanización Baños de decapado Estantado	Inconel o hierro o carburo de silicio Inconel o pirómetro de radiación Pirómetro de radiación Inconel o hierro  Inconel o hierro Cerámico y carburo de silicio o pirómetro de radiación  Inconel o hierro Cerámico y carburo de silicio o pirómetro de radiación Pirómetro de radiación Termopar tipo J sin tubo de protección o pirómetro de radiación Cerámico y carburo de silicio o pirómetro de radiación Acero o carburo de silicio Plomo Acero dulce o hierro
<b>Metales no férricos</b>	Fundición aluminio Tratamiento térmico del aluminio Fundición latón o bronce Recocido Palanquilla Moldeo Plomo Magnesio Estaño Cinc Fundición y calcinación de mineral	Carburo de silicio o hierro  Hierro o sin tubo de protección Metal fundido especial Hierro o sin tubo de protección Inconel o hierro Hierro o carburo de silicio Hierro Acero sin soldadura Acero dulce Carburo de silicio o hierro Inconel, hierro, cerámico o carburo de silicio
<b>Cemento</b>	Conductos de salida Horno	Inconel o hierro Pirómetro de radiación

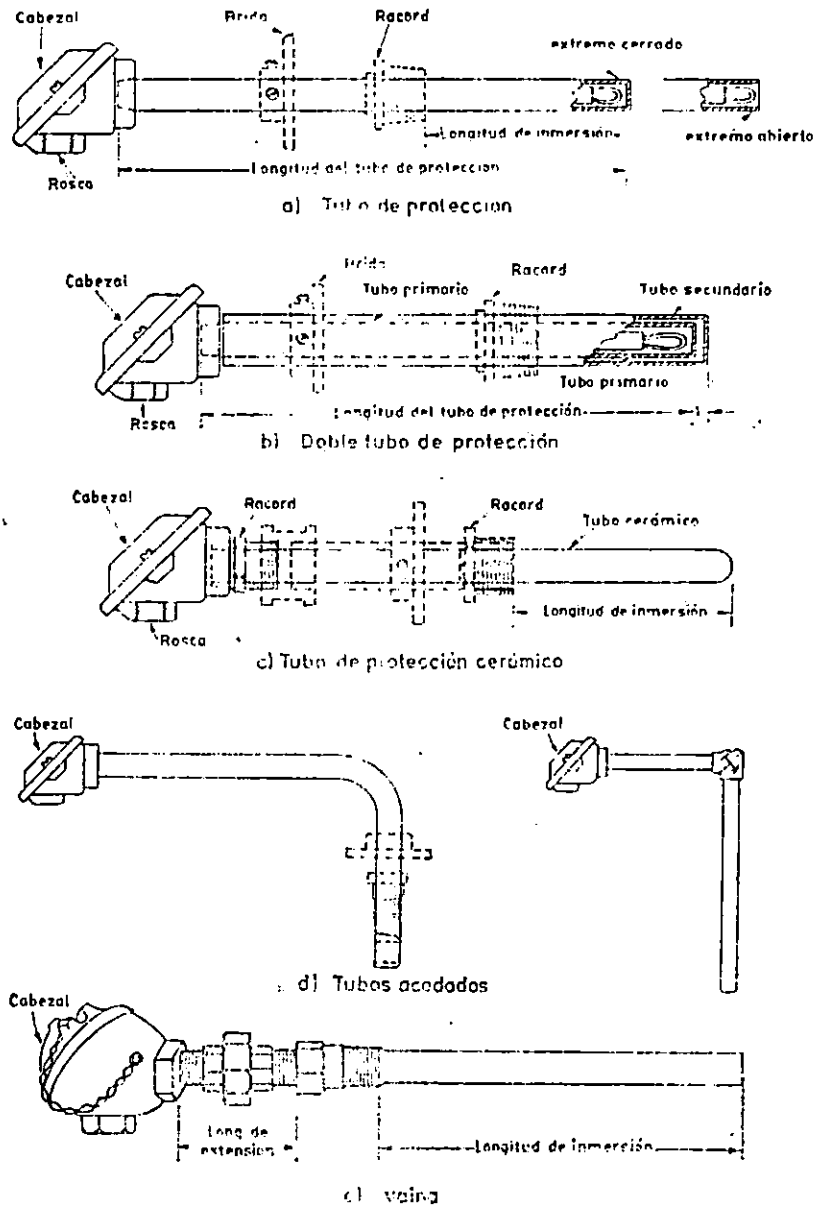


Fig. 6.21. Tubos de protección y vainas para termopares.

- Conductores tipo J para termopares tipo J
- Conductores tipo K o tipo T para termopares tipo K
- Conductores tipo T para termopares tipo T
- Conductores cobre-cobre níquel para termopares tipos R o S

FIGURA 1.12: Tubos de protección para termocupla.

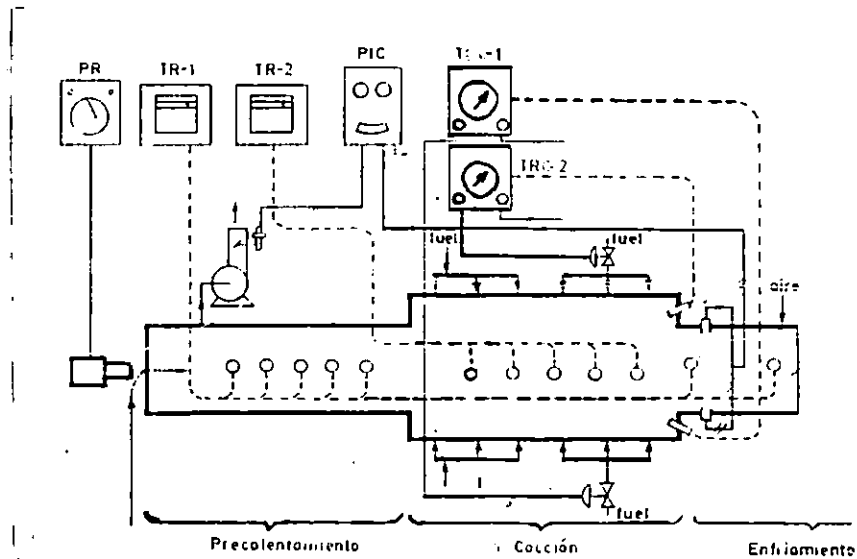


FIGURA 1.13: Esquema de la regulación de un horno túnel típico.

Los procesos de cocción del bizcoho y del bizcocho recubierto de esmalte se basa en el mantenimiento de una curva de cocción que establece un programa preciso de temperatura distribuida de acuerdo con las tres zonas típicas del horno: precalentamiento, cocción y enfriamiento ( como se muestra en la figura 1.13 ). La carga en transportada es vagonetas a una velocidad determinada y las temperaturas se regulan básicamente en la zona de cocción donde se encuentran situados los quemadores de combustible y los valores deseados en la zona de precalentamiento se alcanzan mediante la circulación de aire caliente procedente de la zona de enfriamiento.

Estas temperaturas corresponden a las zonas del horno, ya que salvo casos muy especiales, es difícil de medir directamente la temperatura de las piezas. De todos modos, debido al tiempo que las piezas pasan dentro de horno puede admitirse que en la última zona, donde no absorben prácticamente calor, su temperatura es muy próxima a la de las paredes.

La medida de la temperatura se efectúa con termocuplas de cronel-alumel o de platino platino-rodio, según sean las temperaturas alcanzadas y con fundas cerámicas de mullita

silice-aluminica o de aluminio recristalizado ( nótese que las temperaturas máximas de trabajo de las termocuplas de cromel-alumel o de platino platino-rodio son de 950-1200 °C y de 950-1400 °C, respectivamente.

Los reguladores actúan o bien sobre una válvula de solenoide, o bien sobre válvulas neumáticas.

#### 1.4.2 Pirómetro FEESA ( Impresora ).

El pirómetro FEESA consiste en una máquina para impresión de vinetas y carteles para diversas aplicaciones tales como: envoltorios de medicamentos, bolsas para regalos, etc. Está constituido principalmente por un panel de control con circuitería analógica y un circuito de fuerza ( potencia ) a base de contactores para el control de matores.

Entre los elementos constitutivos del panel de control se encuentra una termocupla tipo K ( Cromel Alumel ), cuyo rango de temperatura de operación es de 50°C a 450°C para un estado de operación de la máquina, y de 50°C a 1200°C para un estado diferente. Se utiliza un circuito de compensación que emplea un elemento dependiente de la temperatura.

## CONCLUSIONES

En base al estudio teórico realizado sobre las características de la termocupla, se concluye lo siguiente:

- 1) La termocupla, como transductor térmico, representa una muy acertada opción en aplicaciones que involucran parámetros térmicos, dada su versatilidad en el manejo de temperaturas ( ya que se encuentran en amplios rangos ) y sus características de construcción, algunas de ellas diseñadas para trabajos en medios hostiles.
- 2) En aplicaciones industriales, es importante adicionar siempre un circuito externo que compense las variaciones de temperatura de la unión de referencia, generalmente el tipo de circuito de compensación más utilizado es el que utiliza un elemento cuyas características dependen de la temperatura, tal como: el termistor, cuya resistencia es dependiente de las fluctuaciones de temperatura.
- 3) Tomando como referencia las aplicaciones típicas en las que la termocupla es utilizada en nuestro medio, puede asegurarse que los tipos más utilizados son: la tipo T (Cobre constantán) y la tipo K (Cromel Alumel) para un rango de temperatura promedio de 50°C a 250°C.



## BIBLIOGRAFIA

- 1) CONSIDINE, Douglas M. Process Instruments and Control Handbook.  
Second Edition  
McGraw-Hill, Company, U.S.A.
- 2) COOPER, Willian David. Instrumentación Electrónica y Mediciones.  
Editorial Prentice Hall PHH.
- 3) CREUS, Antonio. Instrumentación Industrial.  
Marcombo, Boixareu Editores  
Barcelona, Espana.
- 4) JOHNSON, Curtis D. Process Control and Instrumentation Technology.
- 5) MALONEY, Timothy J. Electrónica Industrial Dispositivos y Sistemas.  
Editorial Prentice Hall PHH.

## CAPITULO II

### CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE CIRCUITOS DIGITALES -

#### 2.1 Introducción.

El desarrollo de la electrónica digital se fundamenta principalmente en el uso de dispositivos, capaces de realizar operaciones lógicas ( suma, multiplicación y negación ). Hoy en día existen una diversidad de fabricantes que clasifican a estos elementos en grupos llamados familias lógicas, cada familia posee su propio circuito electrónico básico que la identifica, las de mayor uso comercial son:

DTL Lógica diodo transistor  
TTL Lógica transistor transistor  
ECL Lógica de emisor acoplado  
MOS Semiconductor de óxido metálico  
CMOS Semiconductor de óxido metálico complementado

Los circuitos lógicos elementales son AND, OR y NOT, cuya combinación adecuada da como resultado funciones lógicas de alto nivel, tales como: registros, contadores, decodificadores, entre otros. Otro elemento de mucho peso en la electrónica digital son los que poseen la capacidad de almacenar datos, y reciben el nombre de memorias, las cuales serán desarrolladas posteriormente.

El objetivo del presente capítulo es sentar las bases teóricas para el diseño del dispositivo que se pretende construir.

#### 2.2 Convertidores Digital Analógico ( CDA ).

##### 2.2.1 Generalidades de los CDA.

Un convertidor digital analógico ( CDA ) transfiere información expresada en forma digital a forma analógica, para ubicar la función de este tipo de dispositivo conviene recordar que un sistema combina e interrelaciona diversos subsistemas que trabajan tipos de información diferentes. Un transductor usualmente trabaja con información analógica ( magnitudes eléctricas, mecánicas, etc. ), lo mismo que en

un micrófono, un graficador, o un motor; y estos deberán interactuar con subsistemas que trabajan con una información digital, como una computadora, un sistema lógico o un indicador numérico.

Un convertidor digital-analógico, como el convertidor analógico-digital, al convertir la información del lenguaje digital al analógico y viceversa hacen posible la creación de sistemas con tipos de información diferentes.

Las aplicaciones más significativas del CDA son:

- 1) El control por computadora de procesos fabriles o experimentación, requieren una interfase que transfiera las instrucciones digitales: de la computadora al lenguaje de los actuadores del proceso, que es analógico.
- 2) En las comunicaciones, especialmente en cuanto se refiere a telemedición y telecontrol, se traduce la información de los transductores o la voz de su forma analógica original, al lenguaje digital que resulta más adecuado para la transmisión, y debe reconvertirse a información analógica para su empleo final: escucha o graficación; similarmente, en telecontrol, la información transmitida digitalmente, se habrá de convertir a una señal analógica para accionar los elementos de control.

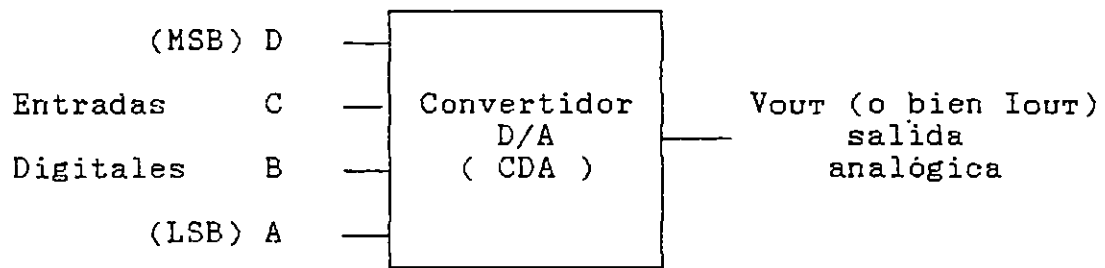
### 2.2.2 Características y Especificaciones del CDA.

Básicamente, la conversión digital-analógica ( D/A ) es el proceso de tomar un valor representado en código digital ( como binario directo o BCD<sup>4</sup> ) y convertirlo en un voltaje o corriente que sea proporcional al valor digital. Este voltaje o corriente es una cantidad analógica, ya que puede tomar diferentes valores de cierto intervalo. La figura 2.1a muestra el diagrama de bloques de un CDA común de 4 bits.

Las entradas digitales D, C, B y A se derivan generalmente del registro de salida de un sistema digital. Los  $2^4 = 16$  diferentes números binarios representados por estos 4 bits se enlistan en la figura 2.1b. Por cada número de entrada, el voltaje de salida del CDA es un valor distinto. De hecho, el voltaje de salida analógico es igual en voltios al número binario.

---

<sup>4</sup> BCD: Código Decimal Binario.



( a )

D	C	B	A	V <sub>out</sub>
0	0	0	0	0 V
0	0	0	1	1 V
0	0	1	0	2 V
0	0	1	1	3 V
0	1	0	0	4 V
0	1	0	1	5 V
0	1	1	0	6 V
0	1	1	1	7 V
1	0	0	0	8 V
1	0	0	1	9 V
1	0	1	0	10 V
1	0	1	1	11 V
1	1	0	0	12 V
1	1	0	1	13 V
1	1	1	0	14 V
1	1	1	1	15 V

( b )

FIGURA 2.1: Convertidor Digital Analógico de 4 bits con salida de voltaje.

**Resolución del CDA.**

La resolución de un CDA se define como la menor variación que puede ocurrir en la salida analógica como resultado de un cambio en la entrada digital. Haciendo referencia a la tabla de la figura 2.1b, podemos apreciar que la resolución es un voltio, puesto que el voltaje de salida puede variar

en no menos que un voltio cuando cambie el código de entrada. La resolución siempre es igual al valor de LSB y también se conoce como **tamaño de etapa**, ya que es la cantidad del voltaje de salida que variará cuando el código de entrada pase de una etapa a la siguiente.

Aunque la resolución puede expresarse como la cantidad de voltaje o corriente por etapa, resulta más útil expresarla como un porcentaje de la salida a plena escala.

### Código de entrada BCD.

Muchos CDA utilizan un código de entrada BCD donde se emplean grupos de código de 4 bits por cada dígito decimal. La figura 2.2 muestra el diagrama de un convertidor de ocho bits ( -dos dígitos ) de este tipo. Cada grupo de código de 4 bits puede variar de 0000 a 1001, de manera que las entradas BCD representan cualquier número decimal de 00 a 99. Dentro de cada grupo de código los valores de los diferentes bits se proporcionan igual que el código binario, pero los valores del grupo son diferentes por un factor de 10.

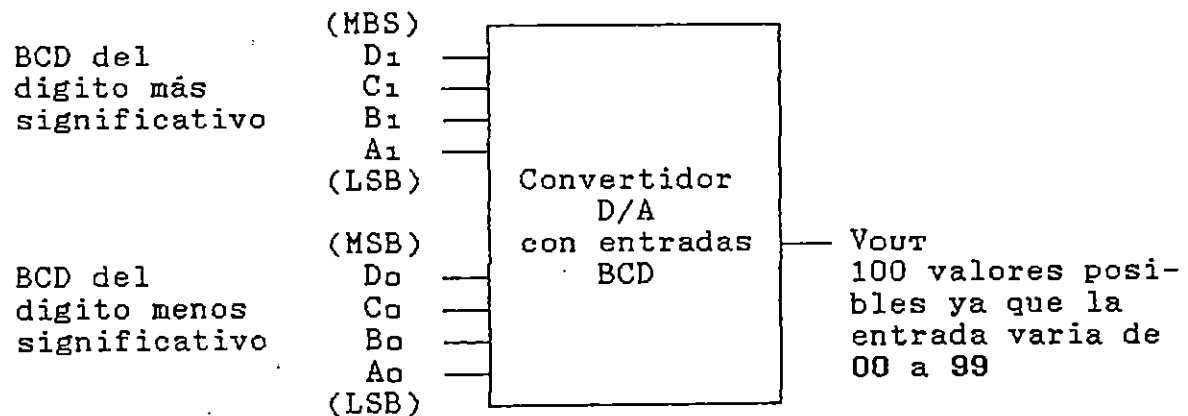
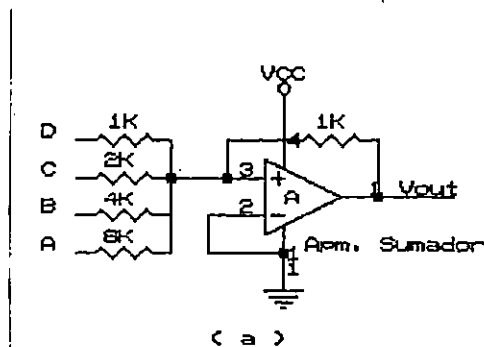


FIGURA 2.2: CDA que utiliza código de entrada BCD.

Estructura Interna Básica de un CDA.

La figura 2.3a muestra el circuito básico de un tipo de CDA de 4 bits. Las entradas A, B, C y D son entradas binarias que se supone tienen valores de 0 lógico o bien 1 lógico<sup>5</sup>. El **amplificador operacional** sirve como amplificador sumador, el cual produce la suma con valor asignado de estos voltajes de entrada. Como ya es conocido el amplificador sumador multiplica cada voltaje de entrada por la proporción de la resistencia de retroalimentación  $R_F$  a la resistencia de entrada correspondiente  $R_{IN}$ .

En este tipo de de CDA el resultado obtenido presenta un signo negativo, debido a que el amplificador sumador es un amplificador de inversión de polaridad, y es evidente que el voltaje analógico obtenido representa una suma con valor asignado de las entradas digitales, como lo muestra la tabla de la figura 2.3b. Esta tabla enlista todas las posibles condiciones de entrada y el voltaje de salida del amplificador. La salida es evaluada con cualquier condición de entrada poniendo las entradas indicadas en 0 o bien en 1 lógico.



D	C	B	A	VOUT(V)
0	0	0	1	0.000
0	0	0	1	-0.625
0	0	1	0	-1.250
0	0	1	1	-1.875
0	1	0	0	-2.500
0	1	0	1	-3.125
0	1	1	0	-3.750
0	1	1	1	-4.375
1	0	0	0	-5.000
1	0	0	1	-5.625
1	0	1	0	-6.250
1	0	1	1	-6.875
1	1	0	0	-7.500
1	1	0	1	-8.125
1	1	1	0	-8.750
1	1	1	1	-9.375

( b )

FIGURA 2.3: Estructura básica de un CDA.

<sup>5</sup> 0 lógico equivale al rango entre 0 y 0.8 V, y para 1 lógico de 2 a 5 V para la logica TTL.

## Exactitud de la Conversión.

La tabla de la figura 2.3b da los valores ideales del voltaje de salida en los diversos casos de entrada. La aproximación que logre este circuito al producir estos valores depende principalmente de dos factores: 1) la precisión de las resistencias de entrada y retroalimentación y 2) la precisión de los niveles de voltaje de entrada. Las resistencias pueden hacerse muy exactas, pero los niveles de voltaje de entrada deben manejarse en forma distinta. Las entradas digitales no pueden tomarse directamente de las salidas de los componentes lógicos, puesto que los niveles lógicos de salida de estos dispositivos no son valores exactos como 0 V y 5 V, sino que varían en un intervalo determinado. Por esta razón, se necesita insertar un amplificador del nivel de precisión entre cada entrada lógica y su resistencia de entrada al amplificador sumador\*.

## 2.3 Memorias.

### 2.3.1 Generalidades sobre Memorias.

Existen ciertos principios básicos de operación para todos los sistemas de memoria.

Todo sistema de memoria requiere varios tipos diferentes de líneas de entrada y salida para desempeñar las funciones siguientes:

- 1) Seleccionar la dirección en la memoria que esté siendo accesada para una operación de lectura o escritura.
- 2) Seleccionar una operación de lectura o bien de escritura para ser efectuada.
- 3) Proporcionar los datos de entrada para ser almacenados en la memoria durante una operación de escritura.
- 4) Contener los datos de salida que vienen de la memoria durante una operación de lectura.
- 5) Activar ( o desactivar ) la memoria de manera que responda ( o no ) a las entradas de dirección y al comando de lectura/escritura.

---

\* Ver referencia 2 y 5 para mayor información.

Existen básicamente dos tipos de memoria: la memoria con acceso aleatorio ( RAM ) y la memoria de solo lectura ( ROM ), cuya utilización dependerá de las necesidades del usuario. Estos dispositivos están diseñados para diversas capacidades de memoria, siendo las más comerciales las que se encuentran en el rango de 1K a 512K Byte<sup>6</sup>.

### 2.3.2 Memorias de solo Lectura ROM.

Este tipo de memoria semiconductor se diseña con el fin de contener datos que sean permanentes ( memoria no volátil )<sup>7</sup> o bien que no cambien frecuentemente. Dependiendo del tipo de ROM, los datos deben de almacenarse durante el proceso de fabricación, o pueden introducirse en forma eléctrica, a este proceso se conoce como programación de la ROM.

#### 2.3.2.1 Memoria de solo Lectura Programable y Borrable a través de luz ultravioleta ( EPROM ).

Una EPROM es una memoria no volátil, que puede ser programada por el usuario y también puede borrarse y reprogramarse tantas veces como se desee. El proceso de programación de una EPROM implica la aplicación de niveles de voltaje especiales ( comúnmente en el orden de 12.5 a 50 V ), a las entradas adecuadas al circuito en una cantidad de tiempo especificada. El proceso de programación usualmente es efectuado por un circuito especial de programación<sup>8</sup>, que está separado del circuito en el cual la EPROM trabajará por último.

Las celdas de almacenamiento de una EPROM son transistores de efecto de campo con una compuerta de silicón que no tiene conexiones eléctricas ( es decir, una compuerta flotante ). Aplicando una pulsación de programación especial de alto voltaje al dispositivo, se inyectan electrones de alta energía en la región de la compuerta flotante, con lo cual se " enciende " el transistor. Estos electrones permanecen capturados en esta región una vez que la pulsación termina, ya que no hay trayectoria de descarga. Durante este proceso, la dirección del circuito y las puntas de datos se usan para determinar qué celdas de memoria serán afectadas por la pulsación de programación.

---

<sup>6</sup> Un Byte equivale a 8 Bits ( 8 caracteres lógicos ).

<sup>7</sup> Son aquellas que mantienen almacenada la información aun sin la alimentación.

<sup>8</sup> Tal como la interfase programadora de memorias EW-704X.



Una vez que se ha programado una celda de memoria, puede ser borrada solamente exponiéndola a luz ultravioleta ( UV ) aplicada a través de una ventana en el integrado.

#### 2.3.2.2 Memoria de solo Lectura Programable y Borrable eléctricamente ( EEPROM ).

La PROM eléctricamente borrable ( EEPROM ) se inventó alrededor del año 1980 como una mejora de la EPROM.

La EEPROM aprovecha la misma estructura de punto flotante de la EPROM. Agrega la característica de borrado eléctrico a través de la adición de una menuda región de óxido arriba del drenaje de la celda de memoria MOSFET. Aplicando un voltaje alto ( 21 V en algunos casos ) entre la compuerta y el drenaje del MOSFET, puede inducirse una carga a la compuerta flotante, donde permanecerá aún cuando se suspenda el suministro de energía. La inversión del mismo voltaje produce una eliminación de las cargas capturadas por la compuerta flotante y borra la celda. Ya que este mecanismo de transporte de carga requiere corrientes muy bajas, la programación y el borrado de una EEPROM puede hacerse por lo general en el mismo circuito ( es decir sin una fuente de luz y unidad programadora de PROM ).

Una ventaja importante ofrecida por las EEPROM sobre las EPROM es la capacidad de borrar y reprogramar eléctricamente palabras individuales en el arreglo de la memoria. Otra ventaja es que una EEPROM completa puede borrarse en cerca de 10 mS ( en circuito ) vrs. cerca de 30 minutos de una EPROM en luz UV externa. Una EEPROM también puede ser programada con mayor rapidez; requiere sólo una pulsación de programación de 10 mS por cada palabra de datos en comparación con 50 mS de una EPROM.

Debido a que la EEPROM puede borrarse y reprogramarse aplicando voltajes adecuados, no necesitamos retirarla del circuito del cual forma parte, siempre que los componentes de soporte adicionales también sean parte del mismo. Los circuitos de soporte incluyen el voltaje de programación de 12.5 o 21 V (  $V_{PP}$  ), que generalmente se generan a partir de la fuente de +5 V a través de un convertidor CD a CD y el circuito para controlar la distribución y sucesión de 10 mS de las operaciones de borrado y programación.

La INTEL 2816 fue la EEPROM original que se presentó en 1981. Tiene una capacidad de 2 K x 8 bits, un tiempo de acceso de 250 nS y las características anteriormente descritas.

### Criterios de Selección de una EEPROM.

Integrar una EEPROM dentro del diseño de circuitos es cuestión de una hábil diagramación esquemática. La programación de una EEPROM puede ser más simple, si se reflexiona la forma de escribir o "quemar" un predeterminado conjunto de datos binarios a una localización de dirección específica. Un vez que la combinación datos/direcciones ha sido establecida, eventualmente debe decidirse la forma en que conviene memorizarlos para obtener la óptima operación. Antes de que la programación tenga lugar, tres importantes criterios de selección de EEPROM deben ser tomados en cuenta:

- 1) Escribir y depurar el programa a utilizar.
- 2) Determinar el tamaño final del programa.
- 3) Definir una EEPROM de acuerdo al espacio requerido para el programa.

Así, estos criterios son de suma importancia, ya que la creación de una memoria basada en la extensión del programa, sería una proposición imposible, por lo que una evaluación y planificación cuidadosa del programa final, debe hacerse antes de programar los datos de las compuertas flotantes de la EEPROM.

### Métodos de Programación de una EEPROM.

Existen dos métodos de acción para la escritura de un programa cualquiera:

El primer método es el más laborioso. En este caso, todos los datos del programa deben ser introducidos físicamente en el circuito de destino. Interruptores analógicos, RAM, y/o terminales de microcomputadoras de control deben ser usados para la evaluación y validez de la programación. Esta técnica algunas veces es usada, sin embargo, sólo con un almacenamiento cuidadoso del registro puede minimizar la

ocurrencia de error. Debe de tomarse en cuenta que todas estas acciones de chequeo necesitan ser repetidas en todo el proceso de programación.

En el otro método, mucho más práctico, el almacenamiento de datos y el proceso de habilitación lo realiza una computadora. Este método ofrece una respuesta a la necesidades de exactitud y acabado del registro de datos.

Usando una computadora, el programa a acceder puede ser continuamente revisado, alterado y corregido, y el resultado guardado en un disco flexible. Posteriormente cuando la EEPROM está lista para ser programada, la computadora puede suministrar la información para la transmisión de datos y localización de direcciones para la subsecuente escritura. Este tipo de procesamiento y transmisión de datos que la computadora realiza, puede llegar a ser una importante ayuda cuando es necesario programar una EEPROM de gran capacidad de memoria.

#### Programación de una EEPROM.

Independientemente de la EEPROM seleccionada para una aplicación cualquiera, existen cinco pasos simples, que deben ser desarrollados para programarla:

- a) Cargar los bits de direcciones en los pines de direccionamiento de la EEPROM.
- b) Cargar los datos del programa en los pines de entrada/salida de datos de la EEPROM.
- c) Inhibir el pin habilitador de salida ( OE' )<sup>⊗</sup>.
- d) Aplicar el voltaje de programación ( VPP ).
- e) Aplicar un pulso en el pin de habilitación de la memoria ( CE' ), por aproximadamente 10 mS.

La figura 2.4 es una representación de una EEPROM típica, representada en estado operacional, en otras palabras, la potencia para este dispositivo de memoria está siendo suministrada junto con las direcciones y los datos de control, a través de un elemento externo.

---

<sup>⊗</sup> Se utilizara la comilla ( ' ) para denotar variables negadas.

Durante la programación la naturaleza de los pines de la EEPROM cambian. La figura 2.5 muestra el proceso de cargado de las líneas de dirección del CI. En el estado operacional, las líneas de dirección de la EEPROM son usadas para especificar la localización en la memoria, que servirá de referencia en la lectura de los datos almacenados. En el estado de programación, estas mismas líneas de dirección son usadas para especificar la localización de memoria para la escritura de los datos del programa.

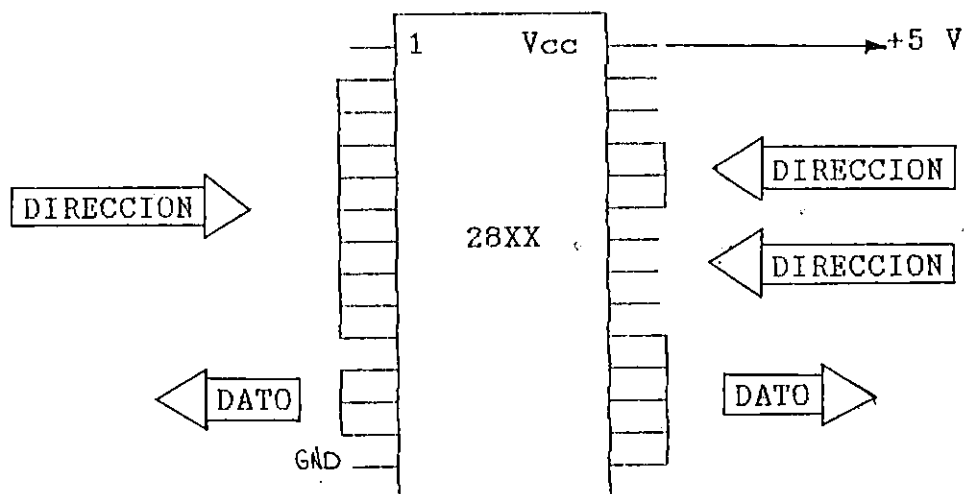


FIGURA 2.4: Condiciones de funcionamiento de una EEPROM.

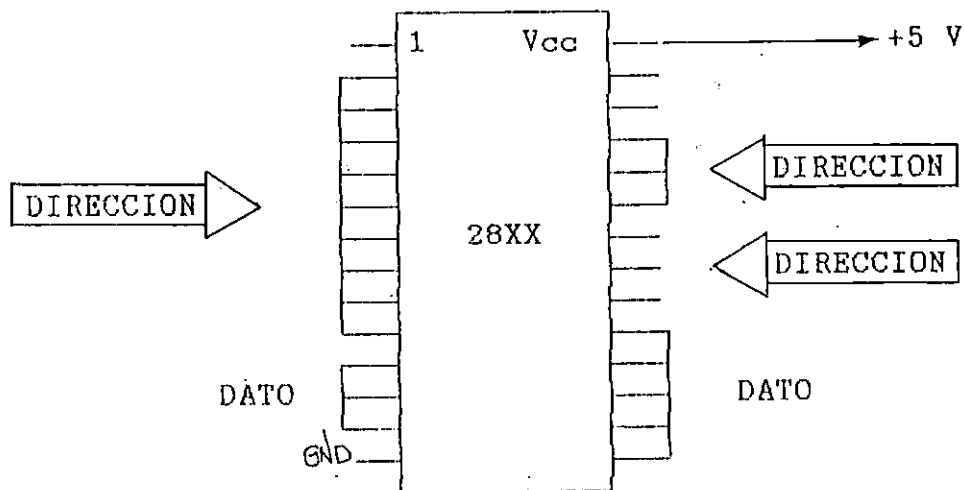


FIGURA 2.5: Primer paso, cargar las direcciones en los pines de direccionamiento.

Una vez que las líneas de dirección han sido cargadas con la

correcta localización de memoria, los datos del programa deben de ser colocados en las líneas de entrada de datos. En la figura 2.6, las líneas de salida de datos en el estado operacional de la EEPROM, se convierten en líneas de entrada de datos durante el proceso de programación. En la ilustración, D<sub>0</sub> es el bit menos significativo ( LSB ) y el D<sub>7</sub> es el bit más significativo ( MSB ).

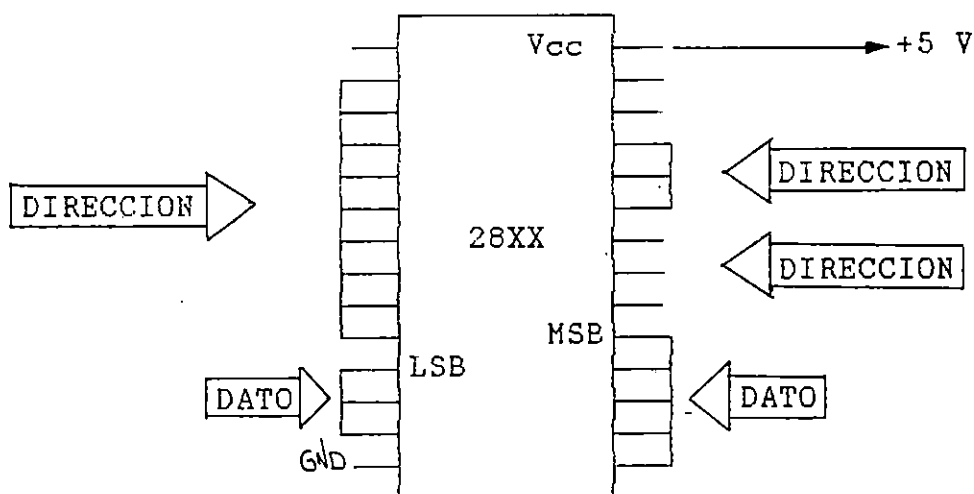


FIGURA 2.6: Segundo paso, cargar los datos en los pines de entrada de datos.

El tercer paso en la programación de una EEPROM involucra cambios en el nivel de voltaje de un pin. El pin habilitador de salida ( OE' ) se debe conectar al sistema de potencia ( Vcc ), durante la programación como se muestra en la figura 2.7. Esta conexión coloca la habilitación de

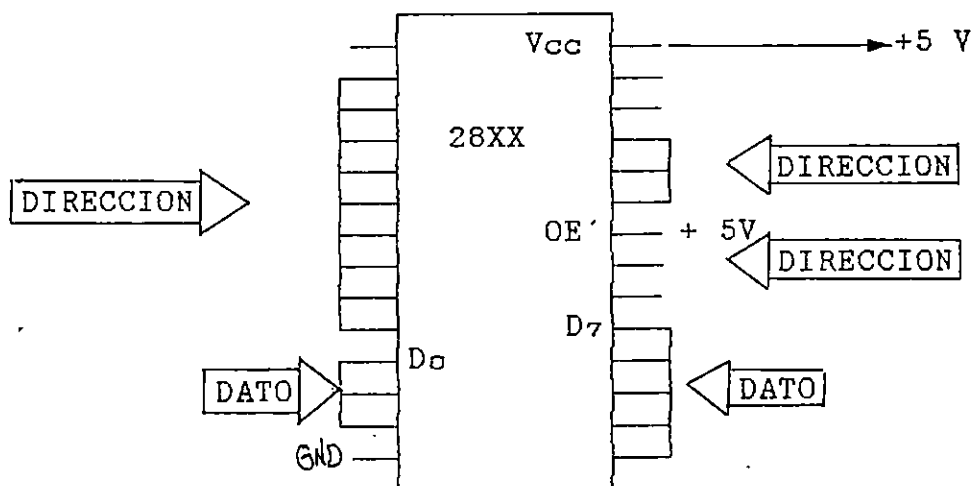


FIGURA 2.7: Tercer paso, inhibir el pin de habilitación de salida.

salida en un estado TTL alto, sabiendo que en estado operacional el nivel de este pin debe ser bajo, logrando con esto la inhibición de la función de la memoria y permitiéndose que los datos puedan ser escritos en la EEPROM.

Después de colocado el pin habilitador de salida en alto, el voltaje de programación es aplicado al pin de suministro de voltaje, como se muestra en la figura 2.8. Es importante mencionar, que existen tres diferentes voltajes de programación que pueden ser empleados en las EEPROM de hoy: +21, +12.5 y +5 voltios.

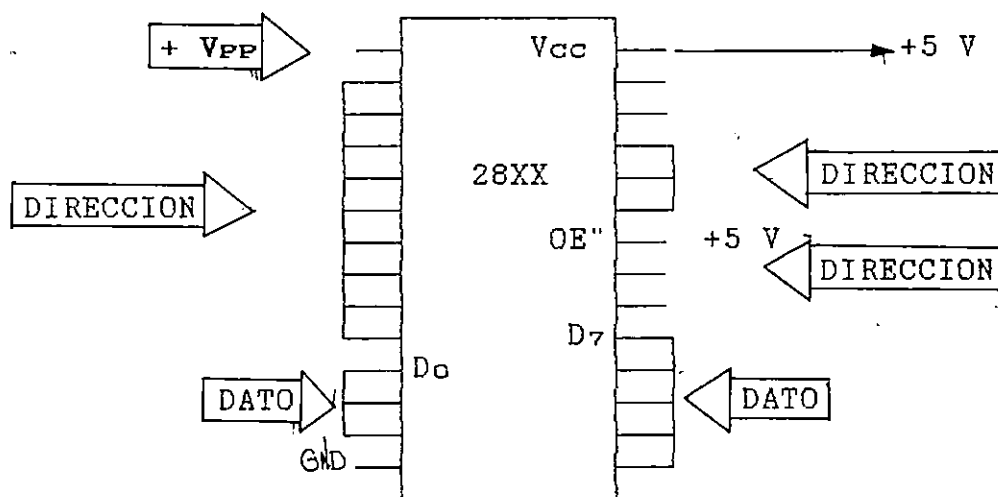


FIGURA 2.8: Cuarto paso, aplicar el voltaje de programación.

El paso final en el proceso de programación de una EEPROM, consiste en aplicar un estrecho pulso al pin de habilitación de la memoria (  $CE'$  ), como se muestra en la figura 2.9.

Este pulso, que implica una transición de alto a bajo y luego a alto (  $\text{—} \downarrow \text{—}$  ), es en el circuito de programación de +5 V, y es también crítico para la exitosa programación de la EEPROM. Un pulso estándar de 10 mS ( con un error máximo del  $\pm 10\%$  ) es utilizado para la EEPROM 2816. La exacta aplicación de este pulso da como resultado el almacenamiento y quemado del conjunto de datos y las especificaciones de las localidades de dirección.

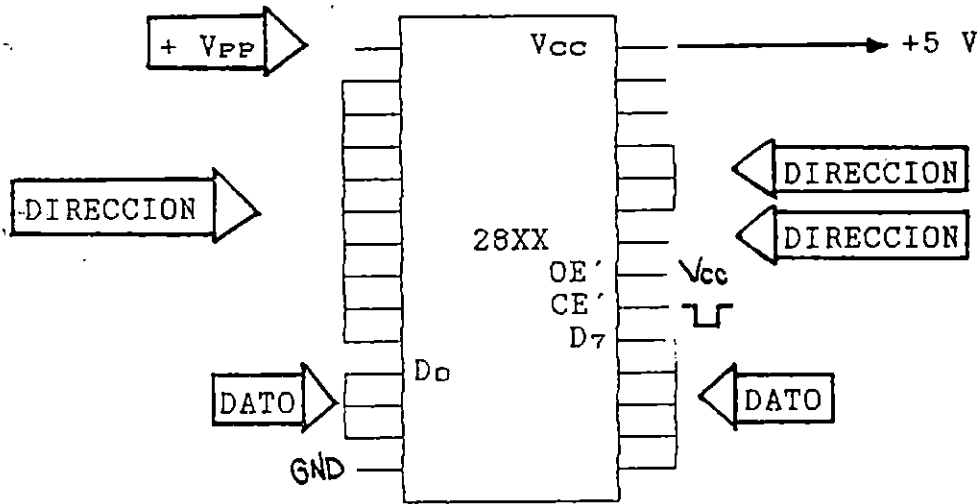


FIGURA 2.9: Quinto paso, aplicar el pulso de programación a la EEPROM.

En la figura 2.10 se presenta el pin-out y sus características de comportamiento, tanto en el estado operacional como en el modo de programación, para la EEPROM 2816.

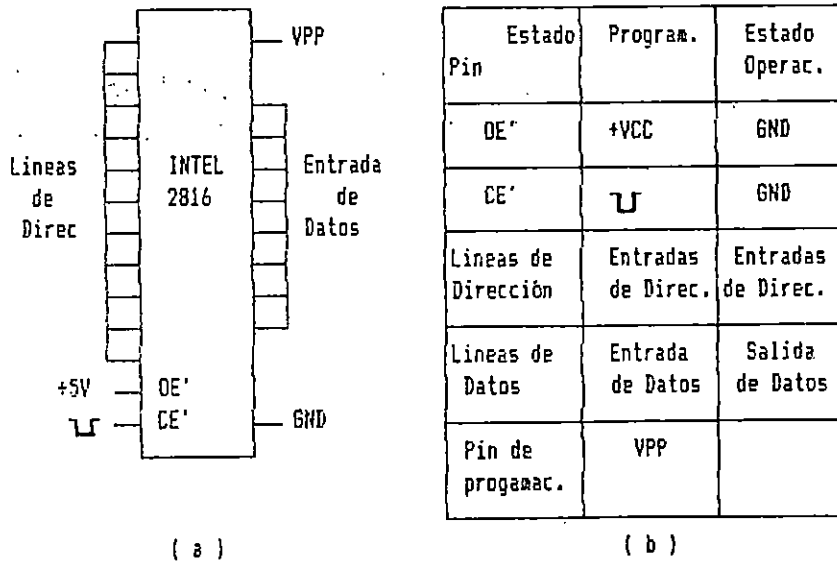


FIGURA 2.10: EEPROM 2816: a) pin-out, b) comportamiento de los pines en las diferentes modalidades.

## CONCLUSIONES

En base al estudio realizado y a los conocimientos teóricos previos se concluye lo siguiente:

- 1) Existen una diversidad de familias lógicas como la TTL, ECL y CMOS, teniendo cada una de ellas cualidades que las caracterizan, tales como tiempo de propagación, factor de carga, niveles lógicos, potencia consumida y suministro de voltaje. La de mayor consumo comercial es la TTL dada su accesibilidad de precio y sus características muy óptimas.
- 2) En sistemas que utilizan tipos de lenguaje diferentes (analógico y digital), los convertidores digital/analógico y analógico/digital son los traductores utilizados por excelencia, permitiendo por ejemplo el control de un motor desde una computadora.
- 3) La exactitud de los convertidores digital/analógico depende en gran medida del nivel de voltaje de referencia utilizado al hacer la conversión, recomendándose la utilización de empaquetados para mantener esta referencia en un nivel estable.
- 4) Las memorias de solo lectura ( ROM ), dadas sus características de no volatilidad, son muy eficientes para la solución de problemas prácticos, siendo necesario la utilización de éstas a gran escala para que la inversión sea rentable.
- 5) Las memorias EEPROM debido a sus características de programación y borrado eléctrico en el mismo sistema donde se encuentran operando, representan una excelente opción en aplicaciones donde es requerida la actualización de los datos almacenados, de manera periódica.
- 6) Las memorias EPROM son similares a las EEPROM pero presentan la desventaja, que deben ser desmontadas del sistema donde se encuentran operando para poder ser borradas.



## BIBLIOGRAFIA

- 1) CUYAS, Arturo. Nuevo Diccionario Cuvás Inglés-Espanol.  
Quinta Edición  
Editorial APPLETON de Grolier Ing.
  
- 2) DIGITAL EQUIPMENT CORPORATION, The Digital Logic Handbook.  
Edition 1966-1967  
Maynard, Massachussetts.
  
- 3) INTEL CORPORATION, Memory Design Handbook.  
1977, Editorial INTEL Corporation
  
- 4) MANO, Morris M. Diseno Digital  
Editorial Prentice Hall PHH
  
- 5) TOCCI, Ronald J. Sistemas digitales Principios y Aplicaciones.  
Tercera Edición  
Editorial Prentice Hall PHH
  
- 6) PROCHNOW Daved and BRANNING D. J., Experiments in CMOS Technology.  
First Edition, 1988  
TAB BOOK Inc. USA

## CAPITULO III

### DESCRIPCION TEORICA DEL DISEÑO A IMPLEMENTAR.

#### 3.1. Introducción.

La versatilidad de la Electrónica Digital permite la elaboración de diversos dispositivos para diferentes aplicaciones, de acuerdo a las necesidades del usuario.

El presente capítulo describe de manera detallada, el diseño digital del proyecto: "Diseño y Construcción de un Simulador de Termocuplas Programable", el cual comprende la introducción de datos, programación y lectura de las memorias residentes, obtención de una respuesta digital y una respuesta analógica, así como la programación y lectura de las memorias programables y borrables eléctricamente (EEPROM).

La descripción de las características del sistema se hace a partir de un diagrama de bloques que muestra la secuencia de operación; presentándose a continuación un análisis más profundo de cada etapa, así como sus elementos constitutivos; lo cual en conjunto representa la base teórica sobre la que se construyó el prototipo real, que es el complemento de este documento.

En general todo el diseño está sustentado en los conceptos fundamentales de la Electrónica Digital, esperándose que éste cumpla con los requisitos establecidos.

#### 3.2. Descripción del Diseño.

En esta sección se detallarán las características de funcionamiento, tablas de verdad y particularidades de cada uno de los elementos a utilizarse en la implementación del diseño, así como la descripción e interrelación de cada etapa que lo conforma.

### 3.2.1. Descripción de Elementos.

- TABLERO (TA) : Está constituido por interruptores que representan los dígitos del 0 al 9, la tecla del signo (+/-) y un RESET, posee una línea común y doce salidas.
- 74147 : Es un decodificador de decimal a BCD con activación baja y salidas negadas.
- 74260 : Dos compuertas NOR de cinco entradas.
- 74122 : Emisión simple redisparable ( $t=0.45RC$ ).
- 74103 : Dos Flip-Flop J-K con clear.
- 74175 : Ocho Flip-Flop D con clear.
- 74157 : Multiplexor de dos entradas a una salida.
- 7404 : Seis Inversores.
- TIL 311 : Presentador Hexadecimal, con lógica incorporada.
- 7483-A : Sumador completo de 4 Bits con acarreo.
- 7432 : Cuatro Compuertas OR.
- 74185 : Convertidor de Binario a BCD.
- 2732-A : Memoria EPROM de 4K x 8 Bits.  
La 2732A es una Memoria de solo Lectura Programable eléctricamente y borrrable a través de Luz Ultravioleta. El tiempo de acceso estándar es de 250 nS, provista con una velocidad de selección de 200 nS. El pin -out se muestra en la hoja de datos del Apéndice A-2.

- 2764 : Memoria EPROM de 8K x 8 Bits.  
La 2764 es una memoria de 64 K bits, 5 voltios, organizada en 8192 palabras de 8 bits. Es apta para trabajar en sistemas que requieren baja potencia, alta velocidad de respuesta e inmunidad al ruido. Tiene un tiempo de acceso de 200 nS, su pin-out se presenta en el Apéndice A-2.
- 2816-A : Memoria EEPROM de 2K x 8 Bits.  
La 2816-A es una memoria de solo lectura Programable y Borrable Eléctricamente. La información de este dispositivo puede ser modificada usando simples niveles de voltaje TTL y un suministro de fuente de 5 voltios. Sus características se presentan en el Apéndice A-2.
- DAC-08 : Convertidor Digital-Analógico de 8 Bits.
- 74273 : Ocho Flip-Flop D con clear.
- 74244 : Son ocho "Buffer" con línea manejadora, con características de NO inversión y un tercer estado a la salida.

### 3.2.2. Descripción del Diagrama de Bloques.

Antes de entrar a un análisis detallado de lo que es el diseño a implementar, se presentará un esbozo general a través del diagrama de bloques mostrado en la figura 3.1.

La primera etapa está compuesta por un sistema de entrada de datos, del cual es obtenido un número BCD (cuatro dígitos máximo); dadas las características de configuración del sistema se necesita un número binario que defina las direcciones, utilizando como medio para lograr este propósito dos memoria EPROM, a cuyo resultado se le sumará un dato fijo que representa el inicio de la tabla más un dato que variará de acuerdo al tipo de termocupla seleccionado. Esta dirección es la que define la lectura en la memoria residente, que corresponde al valor introducido

desde el teclado (Temperatura). La salida del convertidor de BCD a Binario sirve también como dato de entrada para la memoria programable (Temperatura y voltaje), los cuales posteriormente son obtenidos a la salida.

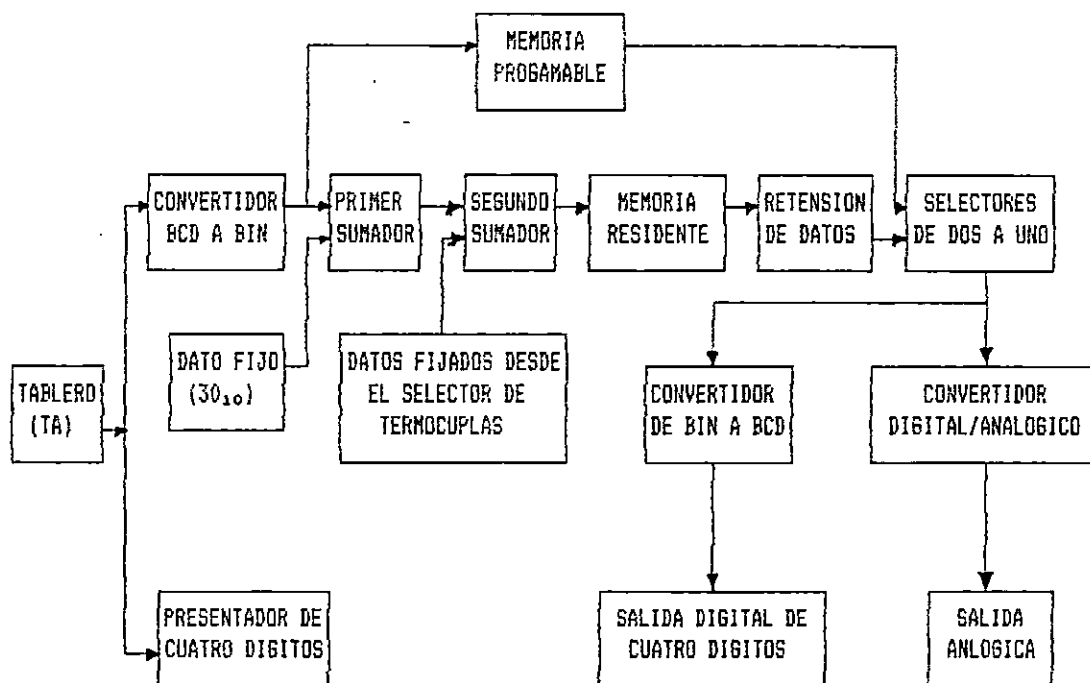


FIGURA 3.1. Diagrama de Bloques.

A partir del dato accesado a la entrada se obtienen dos tipos de salida:

a). Salida Analógica a través de un CDA y b). Salida digital que se podrá leer en los presentadores por la conversión previa de binario a BCD.

Estas lecturas serán obtenidas para la lectura de ambas memorias (Residente y Programable).

### 3.2.3. Descripción del Funcionamiento por Etapas.

#### 3.2.3.1. Entrada de Datos.

El sistema es presentado en la figura 3.2. El teclado es el primer punto de acceso para la entrada de datos, desde donde se define el número que se quiere introducir, el cual representa la temperatura cuyo voltaje desea conocerse. La pulsación de cualquier interruptor (entre los números 1 al 9), genera una pulsación negativa (---), dirigida hacia las entradas del 74147 las cuales se activan con lógica negativa. La salida del 74147 es negada, en código BCD, por lo que se colocan 4 inversores (7404) para obtener el dato deseado, este dato entra en dos dispositivos:

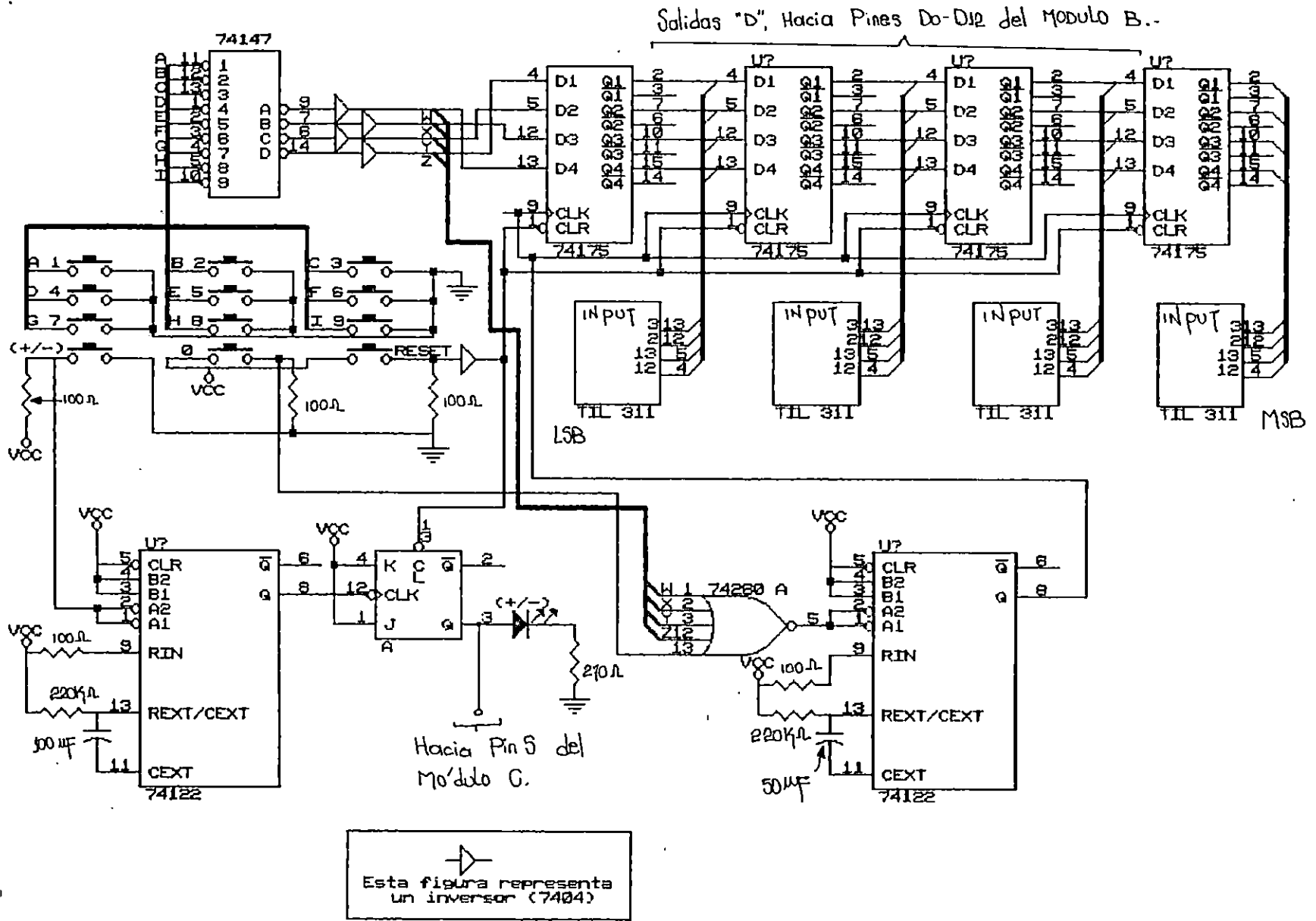
1). En una NOR de 5 entradas (74260) junto con el conector que viene del interruptor del número cero. Cuando cualquiera de las entradas del 74260 sea 1 lógico se obtendrá un pulso negativo que activará al 74122, el cual generará a su salida un pulso.

2). Este dato BCD, que representa el número a accesar, entra también a un Flip-Flop D (74175), el cual se encuentra conectado en cascada junto con otros 3 Flip-Flop D, cuyas salidas irán desplazándose secuencialmente de acuerdo a las pulsaciones del 74122, estas salidas se encuentran conectadas directamente a los presentadores TIL 311, donde se visualiza el dato de entrada (Temperatura).

Existen también acoplados al sistema de entrada de datos dos elementos importantes:

- Una tecla de RESET, la cual se encuentra conectada al clear de todos los Flip-Flop (J-K y D), lográndose con esto el borrado de todos los dispositivos y la inicialización del sistema.

FIGURA 3.2. Lógica para Entrada de Datos. (MODULO A).



- Una tecla para el signo (+/-), que involucra un Flip-Flop J-K (74103), el cual es activado a través de un pulso negativo, y cuya salida no negada activa un diodo emisor de luz (LED) que representa el signo de la temperatura a acceder.

Además de estos elementos se incluye una tecla de ENTER, la que determina la introducción de los datos de entrada a la memoria, con la consiguiente obtención de las salidas digital y analógica, proceso que incluye la memorización de los datos de salida (Voltaje) en dos 74273, los cuales son activados a partir de esta tecla.

### 3.2.3.2. Convertidor de BCD a Binario.

El concepto fundamental para utilizar una memoria como convertidor de BCD a Binario, es obtener una combinación adecuada de bits de la salida BCD de los 74175 (Flip-Flop D), para el cual se memorize el dato binario equivalente, basado en algunos conceptos importantes:

- El LSB del BCD es igual al LSB del binario.
- Como el BCD más grande será de 999, entonces tres bits del MSB no se utilizarán, por lo que de 16 líneas de dirección se limitan a 12, utilizándose memorias de 4K x 8 Bits.
- Si el máximo es de 999, se necesita una memoria de 10 bits, y como no existen de este tipo deben utilizarse dos memorias de 8 bits.
- La combinación del LSB (que como ya se estableció es el mismo en ambos códigos), los ocho bits de la primera memoria y los dos bits de la segunda memoria, es el binario exacto del BCD a convertir.

El diagrama esquemático de conexión se muestra en la figura 3.3.



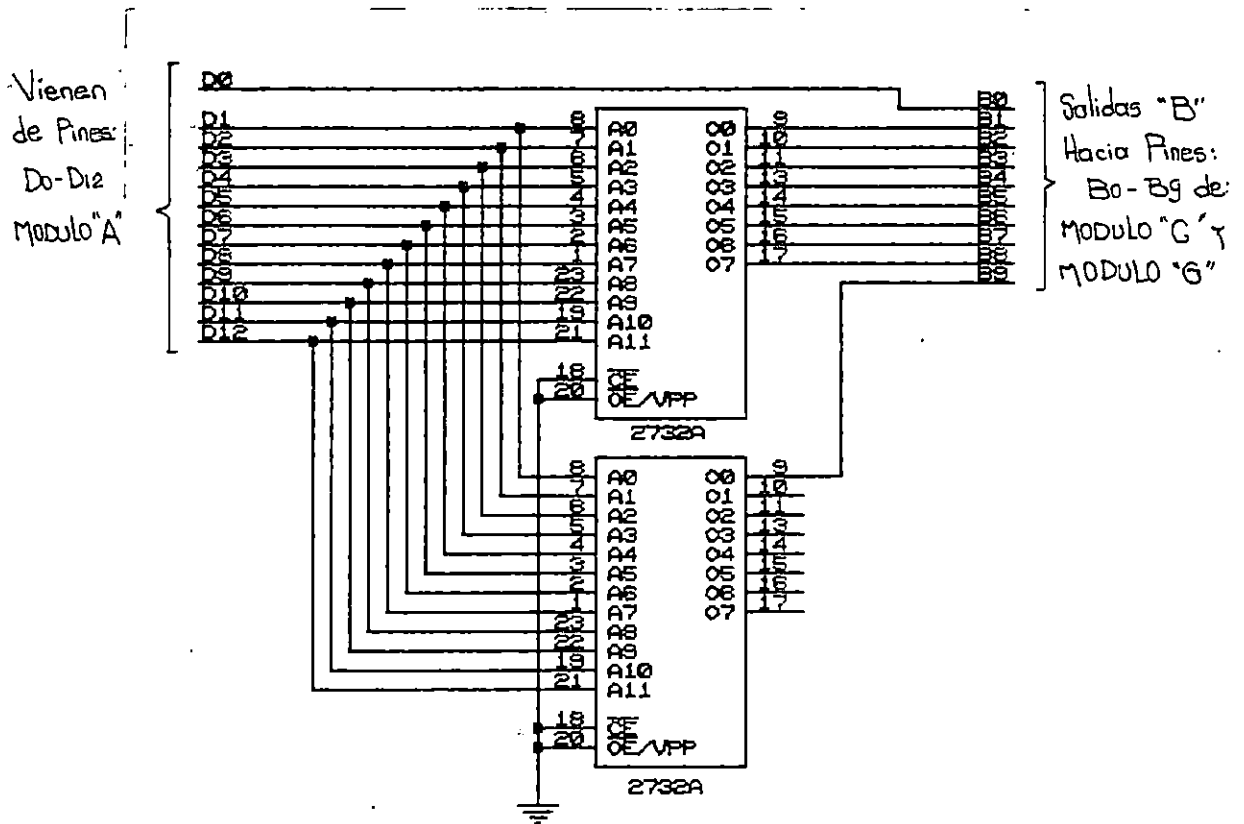


FIGURA 3.3. Convertidor de BCD a Binario.(MODULO B).

Programación de la Memoria a ser utilizada como Convertidor de BCD a Binario.

Para el bit LSB que va de paso, ya sea éste 0bcd ó 1bcd, se leerá siempre la misma localidad de memoria, o lo que es lo mismo para el número par y el número impar próximo superior se lee la misma localidad.

En base a lo anteriormente expuesto, y sabiendo que al quitar el LSB de un número binario lo que se obtiene es el equivalente a la mitad de éste, se plantea el siguiente algoritmo para programar la EPROM 2732A:

- 1). Asumir Hexadecimal el BCD de entrada y dividirlo entre 2.
- 2). De la mitad obtenida del BCD de entrada, tomar solo la parte entera.
- 3). El número obtenido en el numeral 2). es el dato a guardar en la dirección especificada en 1).

Es importante aclarar que para las direcciones BCD jamás se obtendrán cantidades hexadecimales como: A,B,C,D,E y F; esto implica que habrán localidades de memoria sin utilizar.

### 3.2.3.3. Lectura de Datos para la Memoria Residente.

La filosofía de esta parte del circuito es la siguiente: Se utilizan dos memorias EPROM 2764 para almacenar los datos de voltajes de los diferentes tipos de termocupla, en una de ellas la parte real y en la otra la parte fraccionaria del dato en cuestión; por lo que es evidente que las líneas de dirección para ambas memorias deben ser iguales; los datos obtenidos se transmiten a dos convertidores digital-analógico D/A, punto que será tratado posteriormente.

Ahora bien, las líneas de dirección para estas memorias se obtienen a partir del número binario arrojado por el Convertidor de BCD a Binario (Memorias 2732A), de la siguiente forma: Como se muestra en la figura 3.4, se utilizan dos sumadores conectados en cascada; las entradas para el sumador 1 son, el número binario obtenido a partir del BCD de entrada y el número binario equivalente a 30, tomando en cuenta que todas las tablas comenzarán desde una temperatura igual a -30 °C hasta una temperatura máxima de 999 °C, por lo que este dato de 30 °C es una dato fijo e igual para todas las termocuplas. El resultado de esta suma o resta<sup>1</sup> es una de las entradas para el sumador 2, junto con una entrada que define el tipo de termocupla para la que se va a leer el voltaje, esto se hace con un grupo de interruptores que colocan un número específico en el sumador, de acuerdo al tipo que se maneje. El resultado obtenido del sumador 2 (que es un número de 13 bits como máximo), es el número que sirve como dirección para las memorias residentes.

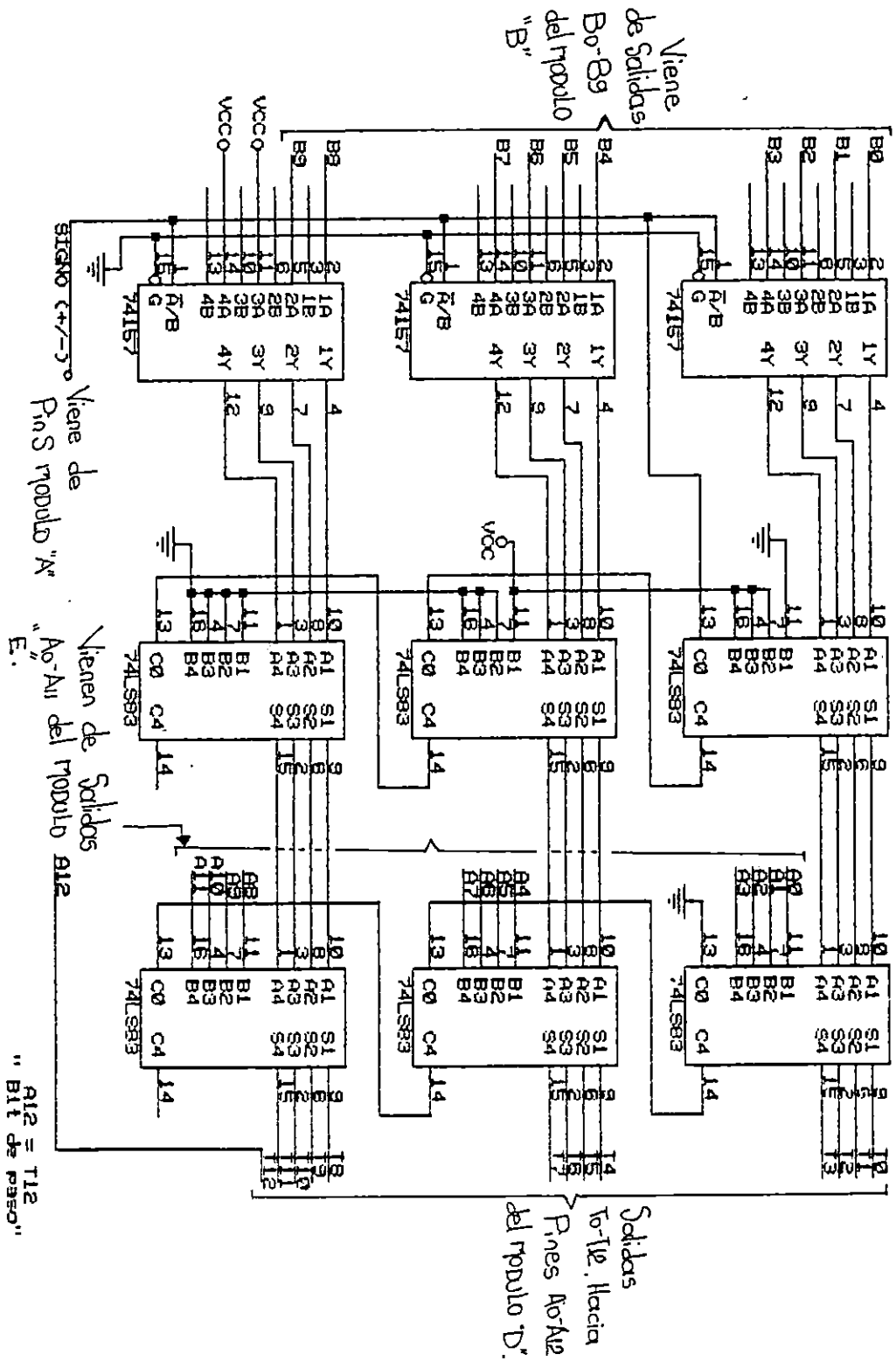
Es importante detallar la tabla de elección del tipo de termocupla, así:

TABLA 3.1:

<u>Tipo de TC.</u>	<u># Binario a Generarse.</u>
T	0000000000000000
J	0000000110101111
K	0000011001111110
R	0000101101001101
S	0001000000011100

<sup>1</sup> La Operación será suma o resta dependiendo del signo de la temperatura.

FIGURA 3.4. Lógica de Lectura para Mem. Residente. (MODULO C)



Viene de Salidas del modulo "B"

Viene de Pines "A0" "A1" "A2" "A3" "A4" "A5" "A6" "A7" "A8" "A9" "A10" "A11" "A12" del modulo "A"

"A12 = T12 Bit de Paro"

Salidas To-18. Hacia Pines A0-A12 del modulo "D"

De lo cual puede inferirse que los datos serán introducidos a la memoria en el orden que aparecen en la tabla anterior.

La conexión de las memorias 2764 se muestra en la figura 3.5, en conjunto con el resto de elementos del módulo para la memoria residente.

La segunda columna de la Tabla 3.1 representa la dirección en la cual se comenzará a programar los datos para los tipos de termocupla especificados. El término que define el tipo de termocupla a manejar se genera a partir de la base anterior; además, si los interruptores que controlan esta parte del circuito no son accionados, este término es cero; al realizar el análisis basados en los datos de la Tabla 3.1 se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$\begin{array}{ll}
 A_{12} = E & A_6 = C + D = A_8 \\
 A_{11} = D & A_5 = B + C = A_1 \\
 A_{10} = C & A_4 = C + E \\
 A_9 = C + D = A_6 & A_3 = A_2 = 1 = A_8 + A_4 \\
 A_8 = B + D = A_0 & A_0 = B + D = A_8 \\
 A_7 = B &
 \end{array}$$

Estas ecuaciones son implementadas con compuertas OR de dos entradas (7432), como se muestra en la figura 3.6.

Para evitar lecturas erróneas a causa de seleccionar dos tipos de termocupla, se presenta a continuación una alarma para detección de esta condición. El diseño de esta alarma es sencillo, ya que se utilizan interruptores ON-ON (de dos posiciones), los cuales solo permiten la selección de dos tipos de termocupla a la vez, lo que define la siguiente ecuación:

$$X = (B + C)(D + E)$$

La ecuación anterior puede implementarse solo con compuertas NOR, como se muestra en la Figura 3.7.

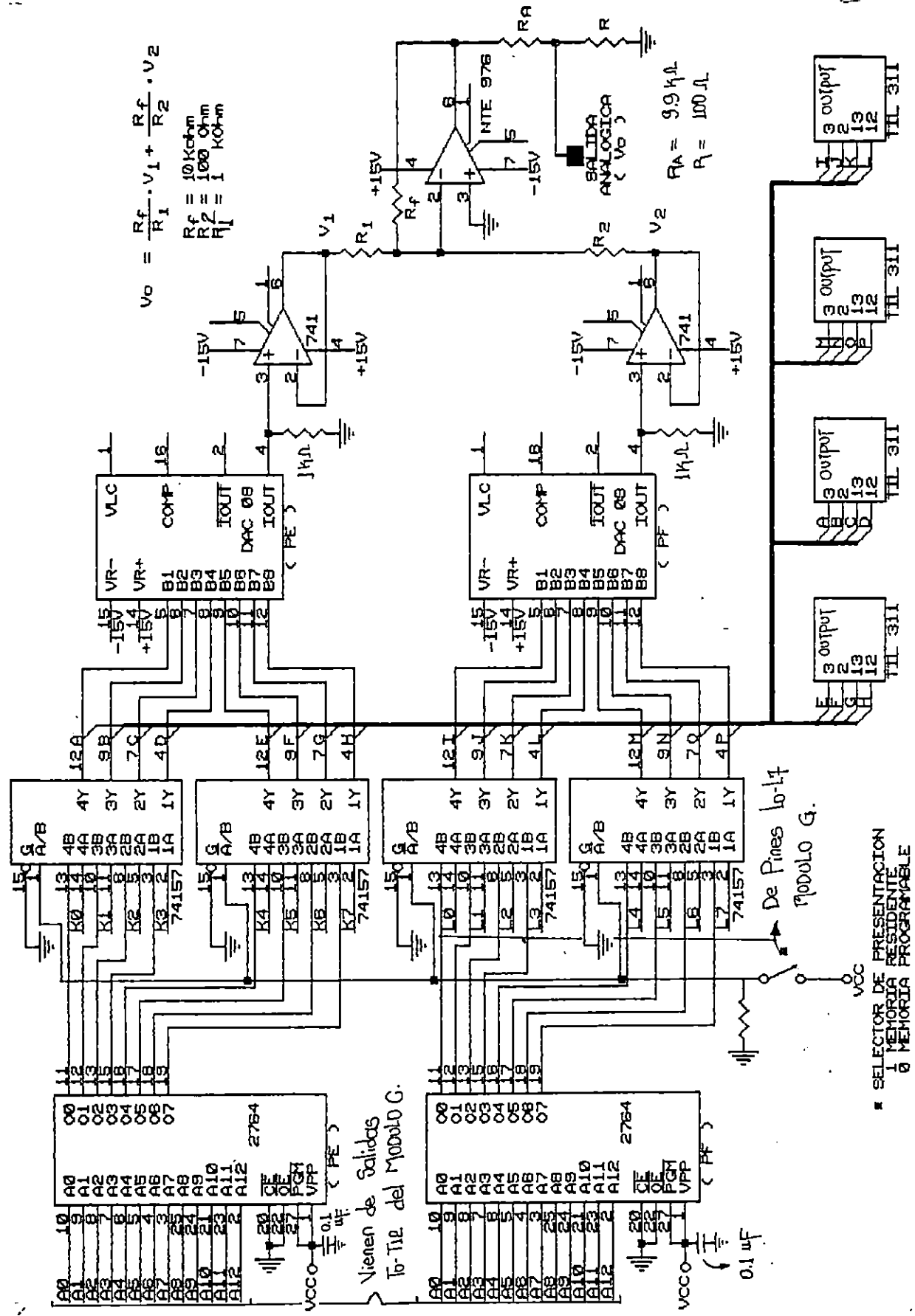


FIGURA 3.5. Módulo para Memoria Residente. (MODULO D).

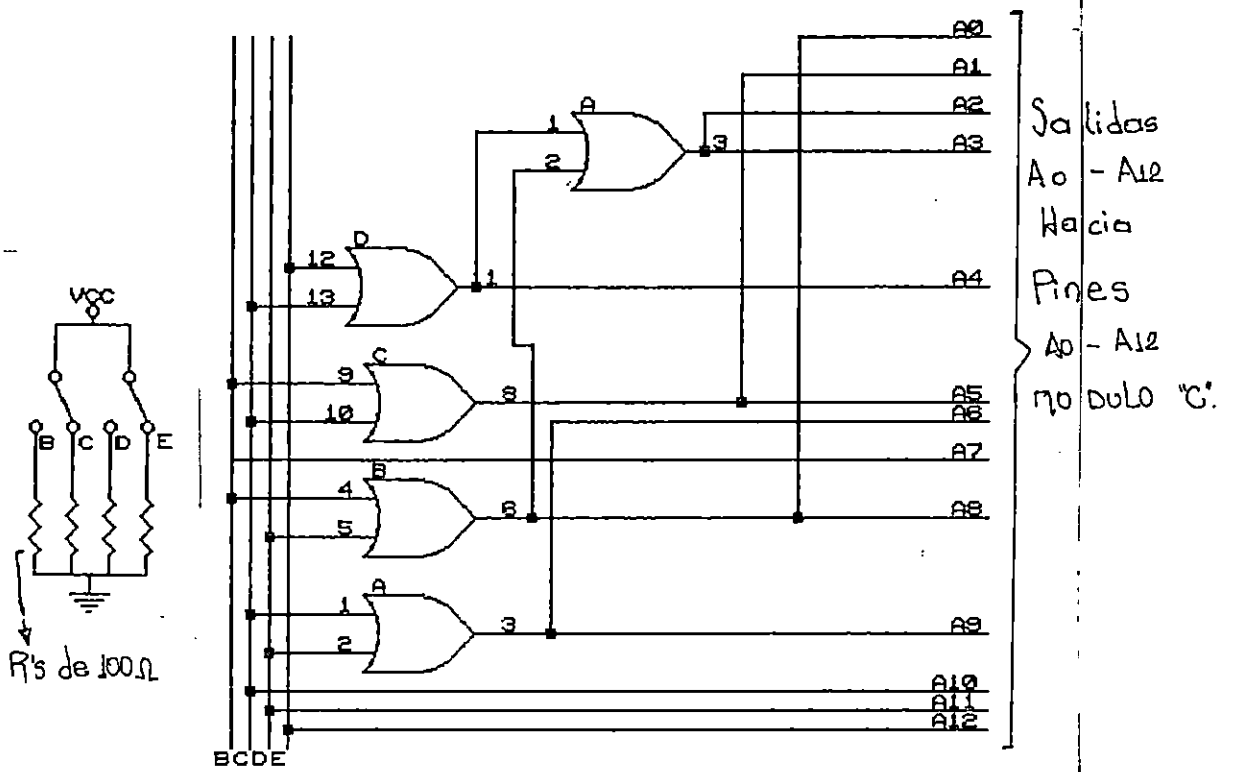


FIGURA 3.6. Lógica de Selección del Tipo de Termocupla.(MODULO E).

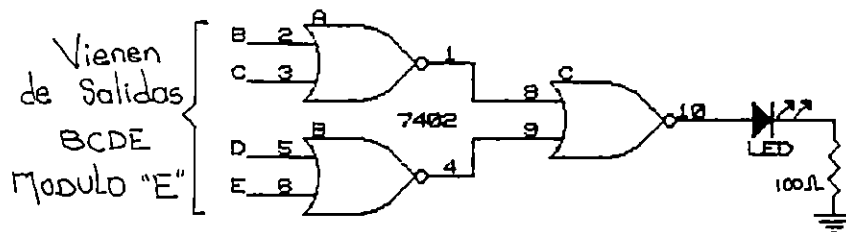


FIGURA 3.7: Alarma de control, al seleccionar dos tipos de termocupla.(MODULO F).

#### 3.2.3.4. Lectura y Programación de Datos para la Memoria Programable.

El elemento básico de esta etapa lo constituye la memoria EEPROM (Memoria de solo lectura Programable y Borrable Eléctricamente), las cuales pueden ser programadas y borradas con circuitería adicional. El circuito presentado en la figura 3.8, cuyas entradas son obtenidas a partir del convertidor de BCD a Binario descrito en la sección 3.2.3.2, los cuales representan el voltaje y temperatura a ser programados y posteriormente leídos.

El proceso de programación y lectura para esta sección es el siguiente: Se accesa primeramente, por medio del teclado, la temperatura que se desea programar, por medio de una tecla de ENTER (Entrada de direcciones), este dato se almacena en Flip-Flop's D (74273 y 74175). En este momento el sistema ya se encuentra listo para acceder el dato de voltaje deseado. Este dato debe ser colocado como parte entera y parte decimal, teniendo cada dato su propio ENTER, que permite realizar la programación de manera separada. Los datos son introducidos directamente a los pines de dirección y salida/entrada de la EEPROM 2816A, y el proceso de programación y lectura es controlado mediante la inclusión de 4 IC 74244 y un 7404 (Como se muestra en la Figura 3.8).

Es importante mencionar que existe un interruptor de selección para este módulo, donde se define si se quiere programar o leer, por lo que para la primera opción debe ejecutarse el proceso detallado anteriormente. En el caso de seleccionar la opción de lectura simple y sencillamente debe introducirse la temperatura y aplicar ENTER de direcciones.

La información de salida de los datos almacenados en la 2816A, es introducida a las entradas A de cuatro multiplexores (74157) y cuyas entradas B son las salidas de la memoria residente 2764; esto permitirá la selección del tipo de dato (ya sea memoria residente o memoria programable) que se desea visualizar en las salidas digital y analógica.

#### 3.2.3.5. Salida de Datos Digital.

A través de la utilización de cuatro 74185, que son convertidores de Binario a BCD, las salidas de los datos de las memorias residentes o Programables son convertidas a código BCD, para poder ser exhibidas en los presentadores. Este circuito es mostrado en la Figura 3.9.

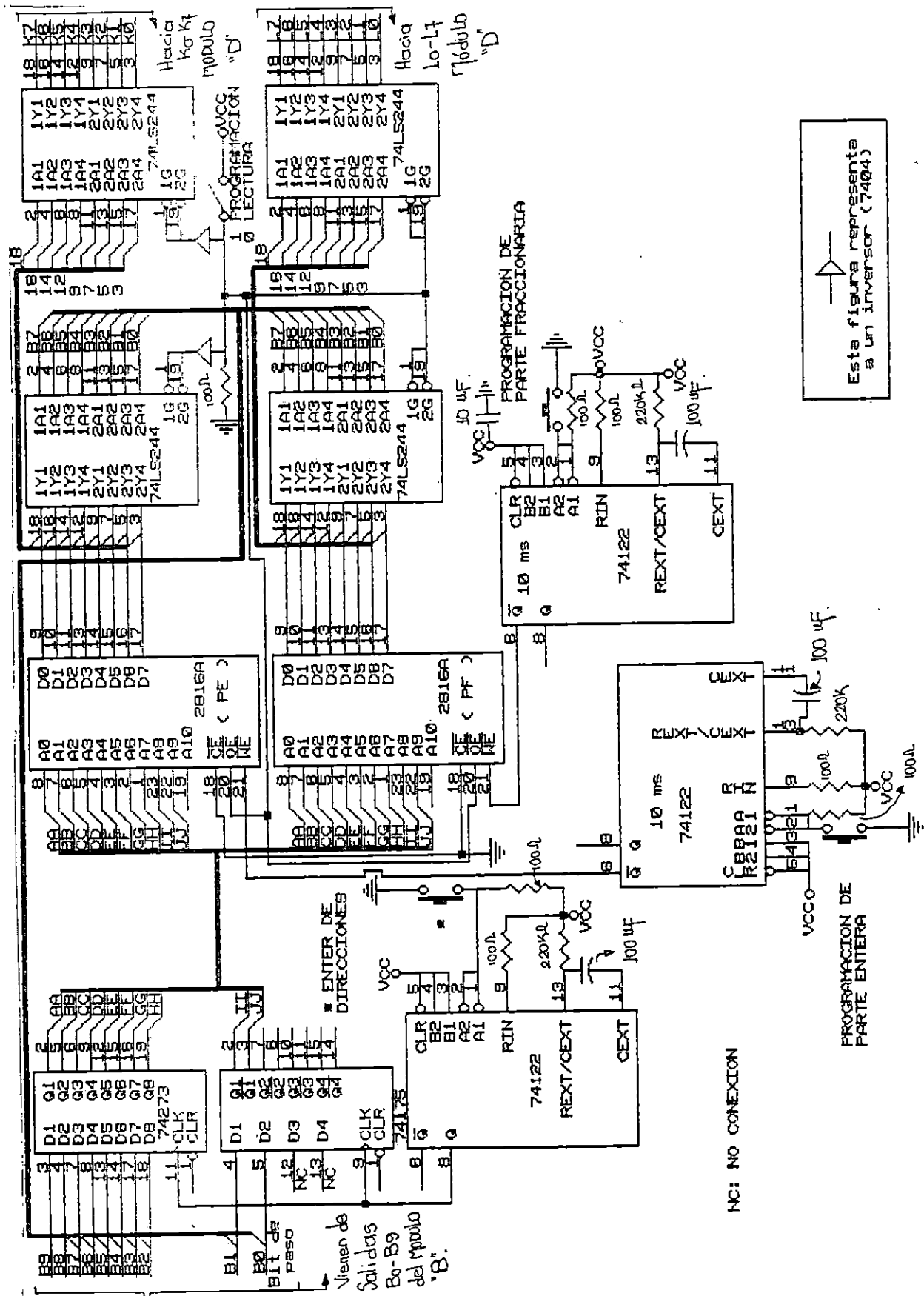


FIGURA 3.8. Lógica de Programación.(MODULO G).



Una vez obtenido el código BCD, éste se conectará a los pines de los presentadores TIL-311, pudiéndose visualizar a placer la salida de datos obtenida.

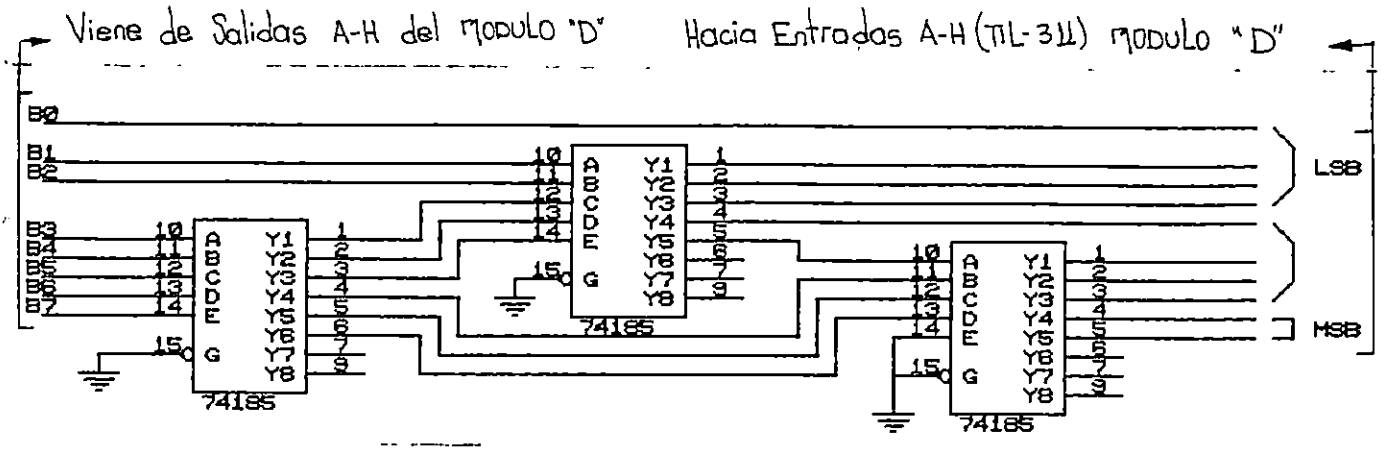


FIGURA 3.9. Convertidor de Binario a BCD.

### 3.2.3.6. Salida de Datos Analógica.

Básicamente esta etapa se encarga de convertir los números digitales binarios obtenidos de las memorias residente y programable (Temperatura), en un dato analógico (Voltaje) equivalente, de la siguiente forma:

Se utilizan dos convertidores Digital-Analógico (DAC-OS) de 8 bits, uno para convertir el dato binario de la parte entera obteniéndose un resultado  $V_1$  y otro para convertir el dato binario de la parte fraccionaria  $V_2$ . Para ambas salidas de los convertidores se coloca un Op - 42 conectado como seguidor de señal, con el objeto de elevar la corriente de salida, luego estos datos son introducidos a un Amplificador sumador (El OP - 42, que es un Amp-Op compensado internamente), el primer término que corresponde a  $V_1$  posee ganancia de 10, el segundo término que corresponde a  $V_2$  posee una ganancia de  $1/10$ , obteniéndose un dato analógico equivalente al deseado, a una potencia de 10 mayor; por lo que se utiliza a la salida un divisor de voltaje formado por resistencias de precisión para desplazar el punto y obtener el dato analógico de interés. El cálculo de valores de  $R_s$  se presenta en el Apéndice A-3.

<sup>2</sup> Según detalle presentando en la figura 3.5.

### 3.3. Circuiteria Final.

El listado total de componentes IC utilizados en el diseño del "Simulador de Termocuplas Programable", es el siguiente:

<u>Cantidad</u>	<u>Descripción</u>
2	Memoria EEPROM 2816-A
2	Memoria EPROM 2732-A
2	Memoria EPROM 2764
8	TIL-311
1	74147
5	74175
7	74157
6	7483-A
6	74122
6	74185
2	7432
3	74273
4	74244
4	7404
1	7402
1	74103
1	74260
2	DAC-08
3	OP-42
1	Tablero Digital
1	NTE-5313
1	NTE-932
1	NTE-968
1	NTE-969
1	Transformador de 50 VA.

### 3.4. Diseño de Fuente de Alimentación.

Este diseño está hecho en base a los requerimientos de voltaje y corriente necesarios para el funcionamiento del dispositivo; se manejan tres niveles de voltaje: +5V, +15V y -15 V. El diagrama se presenta en la figura 3.10.

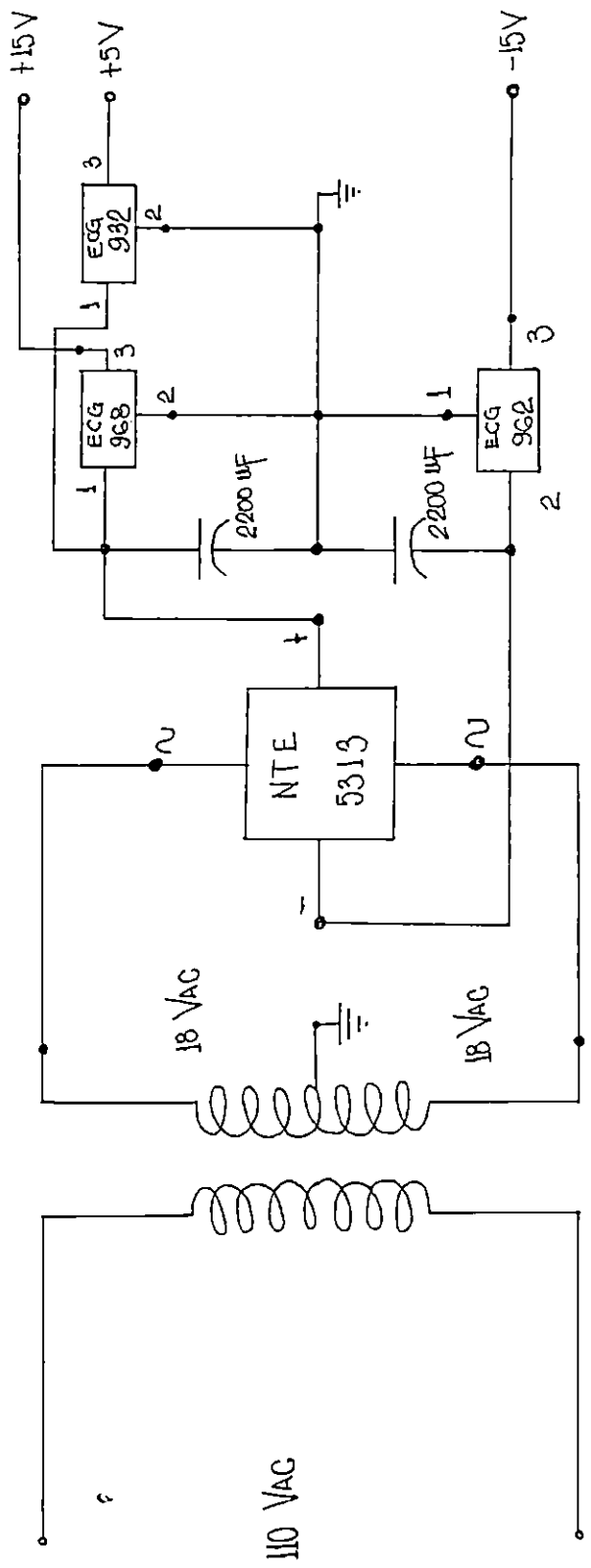


FIGURA 3.10. Fuente de Alimentación.

## CONCLUSIONES.

En base al análisis y descripción del diseño del dispositivo simulador de Termocuplas Programable presentado anteriormente, se concluye lo siguiente:

1). Un parámetro importante a tomar en cuenta a la hora de diseñar un dispositivo de esta naturaleza es el FAN-OUT, ya que esta prevención garantiza que no existirán estados lógicos erróneos.

2). El método de convertir un dato BCD a Binario por medio del uso de dos memorias EPROM programadas de manera adecuada, representa una forma práctica y económica de realizarlo, dada la facilidad y el ahorro de espacio.

3). La exactitud en la respuesta analógica obtenida, depende principalmente de la exactitud del funcionamiento de los DAC (Convertidores Digital-Analógico), en conjunto con la referencia y los Amp-Op.

4). La exactitud de la respuesta digital es mucho mayor que la de la respuesta analógica, ya que lo que se muestra en los presentadores es tomado directamente de las salidas de las memorias.

5). La memoria de solo lectura Programable y Borrable Eléctricamente (EEPROM) es un dispositivo digital que representa una excelente alternativa para almacenar información, dada su versatilidad, poca circuiteria adicional, bajos niveles de funcionamiento y facilidad de actualización de datos guardados.

## BIBLIOGRAFIA.

- 1). INTEL CORPORATION, Memory Design Handbook.  
1977, Editorial INTEL Corporation.
  
- 2). MANO, Morris M. Diseño Digital.  
Editorial Prentice Hall PHH.
  
- 3). TOCCI, Ronald J. Sistemas Digitales. Principios y Aplicaciones.  
Tercera Edición.  
Editorial Prentice Hall PHH.
  
- 4). PROCHNOW D. and BRANNING D.J. Experiments in CMOS Technology.  
First Edition, 1988.  
TAB BOOK Inc. USA.

## CAPITULO IV

### MANUAL DEL USUARIO DEL SIMULADOR DE TERMOCUPLAS .

#### 4.1. Introducción.

El diseño en Electrónica Digital debe ser orientado para lograr la cobertura de las necesidades que se presenten en esta área.

El objetivo fundamental de este capítulo es dar una guía rápida, tipo manual del usuario para el manejo del dispositivo: "Simulador de Termocuplas Programable", de tal forma que con la lectura rápida de este documento, el lector sea capaz de dar el uso más adecuado al equipo, de acuerdo a sus requerimientos específicos.

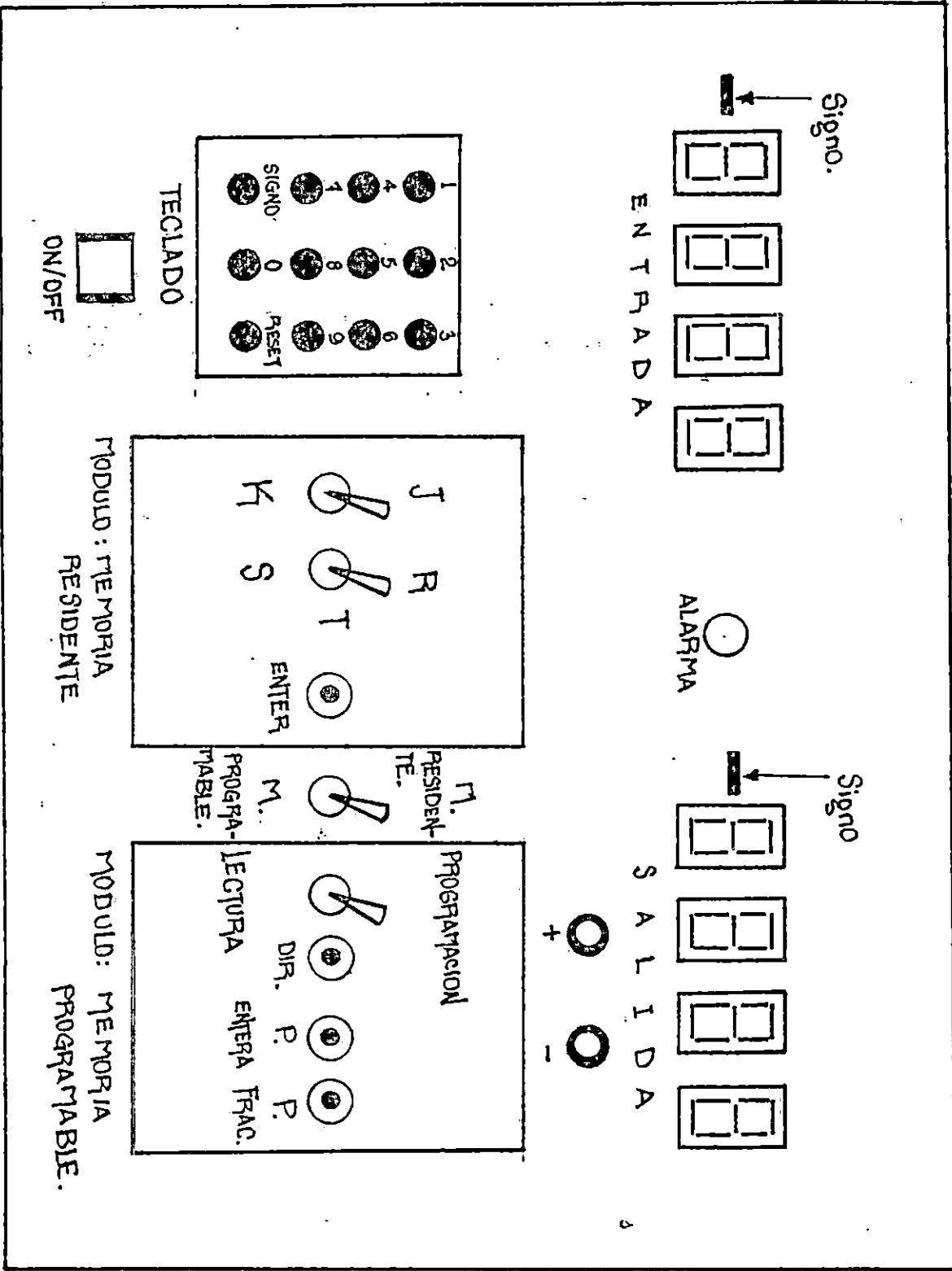
#### 4.2. Descripción Física del Dispositivo.

El montaje de todos los elementos (IC's, Rs, Capacitores, etc.) ha sido realizado en dos tabletas, bajo el método de "Tableta Perforada", usando un pliego de este material. Todos los elementos de entrada y salida de datos (Tablero, Presentadores, Interruptores de selección, etc.) han sido conectados a las tabletas por medio de conectores tipo "Jumpers" y fijados en la parte frontal de la caja protectora, la cual es de lámina de hierro de 1/16" de espesor, y que contiene además de las tabletas los otros elementos constitutivos de la fuente de alimentación.

##### 4.2.1. Descripción de la Presentación del Equipo.

Todos los elementos que forman parte de la entrada, control y salida de datos, se encuentran instalados en la parte frontal de la caja protectora; según detalle presentado en la figura 4.1, donde puede apreciarse que existe un tablero, presentadoras de entrada y salida, módulos para memoria residente y programable; cuya forma de manejo se describirá a continuación.

FIGURA 4.1. Presentación del Equipo.



#### 4.3. Lineamientos para el Uso del Dispositivo.

Tomaremos como referencia, para mayor comprensión del lector, el detalle de presentación de la figura 4.1. A continuación se presenta en forma de tabla, la forma de uso del dispositivo:

##### DESCRIPCION.

##### FUNCION.

\* Módulo de Presentación de Datos de Salida.

En estos presentadores solo se visualizará el valor de voltaje que el dispositivo está suministrando, el cual es también el valor analógico que debe estarse midiendo.

\* Módulo de Presentación de Datos de Entrada.

En estos presentadores se visualiza la temperatura para la cual desea conocerse el voltaje (para el caso de módulo de memoria residente) y la temperatura y el voltaje a programar cuando se utiliza el módulo de Programación.

\* Tablero

Desde el tablero se accesan todos los datos, ya sea de lectura o de programación, posee una tecla para definir el signo de la temperatura, y un RESET que inicializa la entrada de datos.

\* Módulo para Memoria Residente.

En este módulo se define el tipo de Termocupla que se desea simular, de acuerdo a las opciones - que el dispositivo da, definido esto y la temperatura desde el tablero, se tecléa ENTER.

\* Módulo para Memoria Programable.

En este módulo puede programarse la tabla para una termocupla que no se encuentra dentro de la memoria del equipo. Primeramente



se define si se va a programar o a leer, para el primer caso: Se

accesa desde el teclado la temperatura deseada, y se teclaea ENTER, luego se digita el voltaje deseado, primero la parte entera y se teclaea ENTER P. ENTERA y luego la parte fraccionaria y se teclaea ENTER P. FRACCIONARIA. Luego se elige la opción de Lectura, se teclaea la temperatura desde el teclado, y se aplica ENTER, obteniéndose el dato anteriormente programado en el módulo de salida.

\* Tecla de Selección de Datos.

Con este interruptor se define lo que se desea obtener a la salida: Si los datos de la memoria Residente o los datos de la memoria Programable.

\* Salida Analógica

Es un Voltaje analógico que corresponde al voltaje que suministraría una termocupla para la temperatura y tipo especificados.

\* Alarma

Indica que se está obteniendo un dato erróneo a la salida, cuando se eligen 2 tipos de termocupla si multaneamente.

#### 4.4. Limitaciones del Dispositivo.

El equipo presenta ciertas limitaciones, que se enuncian a continuación para cada uno de los módulos:

##### Módulo de Memoria Residente:

El rango de valores de Temperatura válidos para cada una de las termocuplas es:

<u>TIPO</u>	<u>RANGO DE TEMPERATURA ( C ).</u>		
T	-30	a	400
J	-30	a	999
K	-30	a	999
R	-30	a	999
S	-30	a	999

##### Módulo de Memoria Programable:

Solamente pueden ser programados valores de Temperatura de 0 a 999 °C y Valores de Voltaje de 0 a 99.99 mV.

##### Otros:

- El valor de voltaje leído en los presentadores digitales se encuentra en mV.
- El dato analógico (Voltaje) obtenido es siempre Positivo.
- La exactitud del voltaje analógico es aproximadamente del 95 %, con respecto al valor leído en tablas de Termocuplas.

#### 4.5. Aplicaciones.

Básicamente el dispositivo ha sido diseñado para la alimentación de Controladores de Temperatura, para los cuales es necesario un valor de voltaje en Milivoltios, el cual será suministrado por el "Simulador de Termocuplas Programable"; lográndose con esto una gran exactitud en el manejo de las señales.

## CONCLUSION.

Dada la sencillez en el manejo del "Simulador de Termocuplas Programable", representa una excelente alternativa para el manejo de dispositivos que requieren señales exactas de voltaje para su funcionamiento.

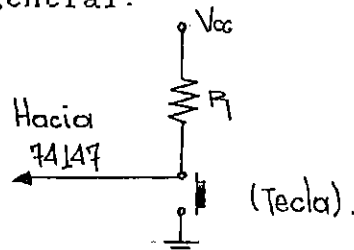
## CONCLUSIONES GENERALES

Tomando como referencia todo el estudio teórico y la experiencia de diseño y construcción del "Simulador de Termocuplas Programable", se concluye lo siguiente:

- 1). Las características de la Termocupla como transductor térmico, permiten su utilización en diversas aplicaciones en el campo de la Electrónica, por lo que el presente proyecto se perfila como una opción para el manejo de equipo cuyos requerimientos de potencia sean los manejados por los dispositivos térmicos.
- 2). La base para el almacenamiento y programación de los datos que sirven como referencia para realizar la simulación del comportamiento de la termocupla, lo constituyen las memorias EPROM Y EEPROM: dispositivos digitales muy versátiles que pueden ser programados y borrados con relativamente muy poca circuitería adicional, y cuyas características de no volatilidad permiten el almacenamiento de datos en carácter permanente.
- 3). El arreglo circuital que conforma el simulador es, básicamente Circuitería digital (Inversores, multiplexores, sumadores, etc.), la cual implica el manejo de señales TTL con gran exactitud, dando con esto gran precisión en los resultados del circuito. Solamente existe una etapa analógica (Convertidores Digital-Analógico) donde la precisión depende de la calidad de los elementos utilizados.
- 4). El simulador de Termocuplas Programable es un dispositivo de manejo sumamente sencillo, versátil, de muy alta precisión y especialmente diseñado para manejar cargas de poco consumo y mucha exactitud en sus niveles de entrada.

## RECOMENDACIONES .

- 1). El diseño digital desarrollado tiene un error del 0.0 %, la parte analógica (formada por 2 DAC y 3 Am-Op) es mucho más inexacta, por lo que se recomienda mejorar la calidad de los componentes utilizados, mediante el uso de elementos de alta precisión u otra alternativa es replantear el diseño.
- 2). Se recomienda no dejar las entradas del IC 74147 (las cuales están conectadas al Tablero de entrada de datos) en estado flotante, utilizando la siguiente configuración general:



- Solamente debe tenerse en cuenta dimensionar correctamente la resistencia para evitar estados lógicos erróneos.
- 3). Se recomienda el manejo de los diodos LED indicadores del signo, con el pin negado del IC 74103, con el objeto de no sobrecargar el Integrado.
  - 4). Sería prudente replantear a futuro, todo el diseño del presente trabajo, utilizando MICROPROCESADORES, lo cual posiblemente haría el diseño más simple y versátil.
  - 5). Se recomienda la creación de una estructura en la Escuela de Ingeniería Eléctrica, encargada de coordinar los detalles de acabado de los Trabajos de Graduación, la cual sea capaz de manejar las técnicas estándar utilizadas para el montaje de circuitos eléctricos en general.

**APENDICE**

**APENDICE A-1**









TABLA 6.5 (Continuación)

Table with columns for temperature in degrees Celsius (°C) and millitop. It lists values for temperatures from 850 to 1.200. The table is part of a larger set of conversion tables.

TIPO K

Table for TIPO K with columns for temperature in degrees Celsius (°C) and millitop. It lists values for temperatures from -270 to 40. The table is part of a larger set of conversion tables.

















TABLA 6.5 (Continuación)

(IPTS 1988)

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
<i>Millimetros</i>												
1.430	14,731	14,744	14,758	14,768	14,780	14,792	14,804	14,816	14,828	14,840	14,852	1.430
1.440	14,852	14,865	14,877	14,889	14,901	14,913	14,925	14,937	14,949	14,961	14,973	1.440
1.450	14,973	14,985	14,998	15,010	15,022	15,034	15,046	15,058	15,070	15,082	15,094	1.450
1.460	15,094	15,106	15,118	15,130	15,142	15,154	15,167	15,179	15,191	15,203	15,215	1.460
1.470	15,215	15,227	15,239	15,251	15,263	15,275	15,287	15,299	15,311	15,324	15,336	1.470
1.480	15,336	15,348	15,360	15,372	15,384	15,396	15,408	15,420	15,432	15,444	15,456	1.480
1.490	15,456	15,468	15,480	15,492	15,504	15,516	15,528	15,540	15,552	15,564	15,576	1.490
1.500	15,576	15,589	15,601	15,613	15,625	15,637	15,649	15,661	15,673	15,685	15,697	1.500
1.510	15,697	15,709	15,721	15,733	15,745	15,757	15,769	15,781	15,793	15,805	15,817	1.510
1.520	15,817	15,829	15,841	15,853	15,865	15,877	15,889	15,901	15,913	15,925	15,937	1.520
1.530	15,937	15,949	15,961	15,973	15,985	15,997	16,009	16,021	16,033	16,045	16,057	1.530
1.540	16,057	16,069	16,080	16,092	16,104	16,116	16,128	16,140	16,152	16,164	16,176	1.540
1.550	16,176	16,188	16,200	16,212	16,224	16,236	16,248	16,260	16,272	16,284	16,296	1.550
1.560	16,296	16,308	16,319	16,331	16,343	16,355	16,367	16,379	16,391	16,403	16,415	1.560
1.570	16,415	16,427	16,439	16,451	16,462	16,474	16,486	16,498	16,510	16,522	16,534	1.570
1.580	16,534	16,546	16,558	16,569	16,581	16,593	16,605	16,617	16,629	16,641	16,653	1.580
1.590	16,653	16,664	16,676	16,688	16,700	16,712	16,724	16,736	16,747	16,759	16,771	1.590
1.600	16,771	16,783	16,795	16,807	16,819	16,830	16,842	16,854	16,866	16,878	16,890	1.600
1.610	16,890	16,901	16,913	16,925	16,937	16,949	16,960	16,972	16,984	16,996	17,008	1.610
1.620	17,008	17,019	17,031	17,043	17,055	17,067	17,078	17,090	17,102	17,114	17,125	1.620
1.630	17,125	17,137	17,149	17,161	17,173	17,184	17,196	17,208	17,220	17,231	17,243	1.630
1.640	17,243	17,255	17,267	17,278	17,290	17,302	17,313	17,325	17,337	17,349	17,360	1.640
1.650	17,360	17,372	17,384	17,396	17,407	17,419	17,431	17,442	17,454	17,466	17,477	1.650
1.660	17,477	17,489	17,501	17,512	17,524	17,536	17,548	17,559	17,571	17,583	17,594	1.660
1.670	17,594	17,606	17,617	17,629	17,641	17,652	17,664	17,676	17,687	17,699	17,711	1.670
1.680	17,711	17,722	17,734	17,745	17,757	17,769	17,780	17,792	17,803	17,815	17,826	1.680
1.690	17,826	17,838	17,850	17,861	17,873	17,884	17,896	17,907	17,919	17,930	17,942	1.690
1.700	17,942	17,953	17,965	17,976	17,988	17,999	18,010	18,022	18,033	18,045	18,056	1.700
1.710	18,056	18,068	18,079	18,090	18,102	18,113	18,124	18,136	18,147	18,158	18,170	1.710
1.720	18,170	18,181	18,192	18,204	18,215	18,226	18,237	18,249	18,260	18,271	18,282	1.720
1.730	18,282	18,293	18,305	18,316	18,327	18,338	18,349	18,360	18,372	18,383	18,394	1.730
1.740	18,394	18,405	18,416	18,427	18,438	18,449	18,460	18,471	18,482	18,493	18,504	1.740
1.750	18,504	18,515	18,526	18,537	18,547	18,558	18,569	18,580	18,591	18,602	18,612	1.750
1.760	18,612	18,623	18,634	18,645	18,655	18,666	18,677	18,687	18,698			1.760

**APENDICE A-2**

# 27C64/87C64 64K (8K x 8) CHMOS UV ERASABLE PROM

- CHMOS Microcontroller and Microprocessor Compatible
  - 87C64-Integrated Address Latch
  - Universal 28 Pin Memory Site, 2-line Control
- Low Power Consumption
  - 10 mA Maximum Active Current
  - 100  $\mu$ A Maximum Standby Current
- High Performance Speeds
  - 200 ns Maximum Access Time
- Noise Immunity Features
  - $\pm 20\%$   $V_{CC}$  Tolerance
  - Maximum Latch-up Immunity Through EPI Processing
- Fast, Reliable Intelligent Programming™
  - Programs in Under 1 Minute
  - 12.5V  $V_{pp}$ , HMOS II-E Compatible

Intel's 27C64 and 87C64 CHMOS EPROMs are 64K bit 5V only memories organized as 8192 words of 8 bits. They employ advanced CHMOS™II-E circuitry for systems requiring low power, high performance speeds, and immunity to noise. The 87C64 has been optimized for multiplexed bus microcontroller and microprocessor compatibility while the 27C64 has a non-multiplexed addressing interface and is plug compatible with the standard Intel 2764A (HMOS II-E).

The 27C64 and 87C64 achieve both high performance (200 ns access times) and low power consumption (10 mA active current maximum CMOS inputs) making them ideal for high performance, portable equipment. Special EPI processing also reduces these devices' susceptibility to latch-up, a common CMOS quality problem, and enables wide  $V_{CC}$  tolerances (20%) in CMOS systems. These features simplify the design of electronic equipment which is subject to high noise environments.

The 87C64 incorporates an address latch on the address pins to minimize chip count in multiplexed bus systems. Designers can tie combined (multiplexed) address-data processor busses directly into both the A0-A7 and O0-O7 pins of the 87C64. During ALE high (ALE/ $\overline{CS}$ ) the address information is allowed to flow into the EPROM and begin accessing the stored code. On the falling edge of the ALE input (ALE/ $\overline{CS}$ ), address information at the address inputs is latched internally. The A0-A7 inputs are then ignored as data information is passed on the same bus from the EPROM O0-O7 Pins (ALE/ $\overline{CS}$  remains low).

The highest degree of protection against latch-up is achieved through Intel's unique EPI processing. Prevention of latch-up is provided for stresses up to 100 mA on address and data pins from -1V to  $V_{CC} \pm 1V$ .

\*HMOS and CHMOS are patented processes of Intel Corporation.

Intel Corp.

MEMORY

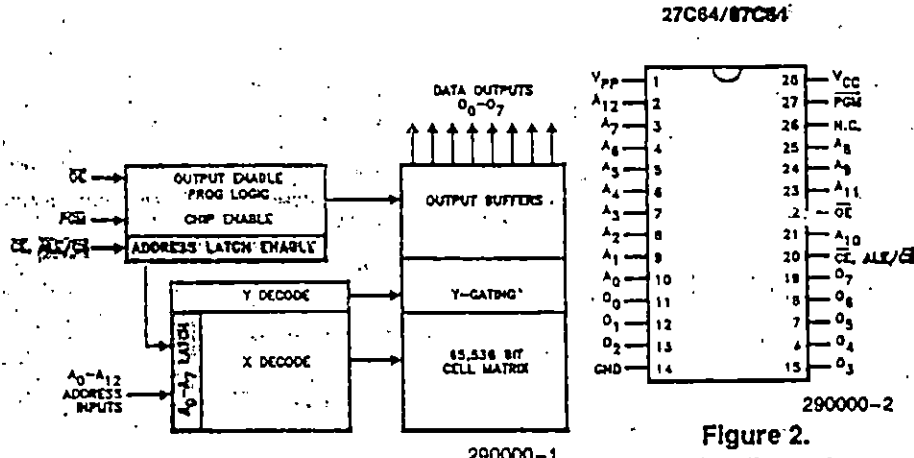


Figure 1. Block Diagram

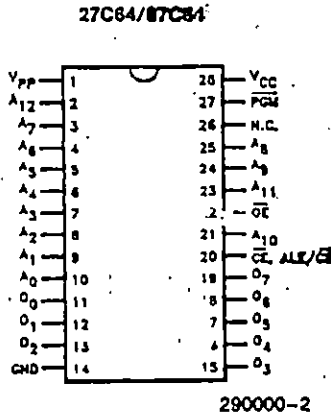


Figure 2. Pin Configuration

Table 1. Pin Names

Pin Name	Function
A <sub>0</sub> -A <sub>12</sub>	ADDRESSES
O <sub>0</sub> -O <sub>7</sub>	OUTPUTS
OE	OUTPUT ENABLE
CE	CHIP ENABLE
ALE/ $\overline{CS}$	ADDRESS LATCH ENABLE /CHIP SELECT
PGM	PROGRAM STROBE
N.C.	NO CONNECT

Shaded Areas represent the 87C64 version

Intel Corporation assumes no responsibility for the use of any circuitry other than circuitry embodied in an Intel product. No other circuit patent licenses are implied. Information contained herein supersedes previously published specifications on these devices from Intel. September 1984  
© Intel Corporation, 1984



16K  
4K

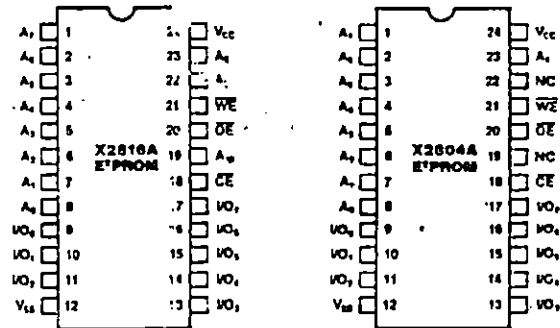
X2816A 2K x 8 Bit Electrically Erasable PROM  
X2804A 512K x 8 Bit Electrically Erasable PROM

5 Volt Programmable E<sup>2</sup>PROMs

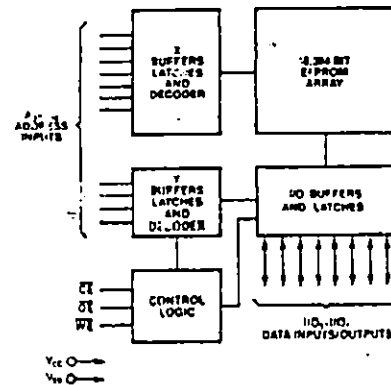
FEATURES

- Simple Byte Write Operation
  - No High Voltages Necessary
  - Single TTL level WE Signal Modifies Data
  - Internally Latched Addresses and Data
  - Automatic Write Time-Out
  - Noise Protected WE Pin
- Conforms to JEDEC Byte-Wide Standard
- Reliable N-Channel Floating Gate MOS Technology
- Single 5-Volt Supply
- Byte Write Time: 10ms Max.
- Fast Access Time: 250ns Max.
- Low Power Dissipation
  - Active Current X2816A: 110mA Max.
  - X2804A: 80mA Max.
  - Standby Current: 50mA Max.

PIN CONFIGURATIONS



FUNCTIONAL DIAGRAM X2816A (2K x 8)



DESCRIPTION

The Xicor X2816A (16,384 bits) and X2804A (4,096 bits) are electrically erasable programmable read-only memories (E<sup>2</sup>PROMs) with unprecedented ease-of-use features. Xicor E<sup>2</sup>PROM data can be modified using simple TTL level signals and a single 5-volt power supply. In addition, Xicor E<sup>2</sup>PROMs are operationally and pin compatible with existing 2K x 8 byte-programmable E<sup>2</sup>PROMs which require an additional high voltage power supply for programming (See *optional* high voltage programming compatible mode.) Writing data in Xicor E<sup>2</sup>PROMs is analogous to writing data in a static RAM. A 150ns TTL low level signal to the WE pin initiates a byte write operation which is automatically timed out in a maximum of 10ms. Since addresses and data are internally latched, Xicor E<sup>2</sup>PROMs free the system for other tasks during the 10ms period, such as programming other Xicor E<sup>2</sup>PROMs. In addition to byte modification capability, a 10ms total chip erase feature is provided.

Xicor E<sup>2</sup>PROMs use a 2-line control architecture,  $\overline{CE}$  and  $\overline{OE}$ , to eliminate bus contention in a system environment. A power down mode is featured. In the standby mode, power consumption is reduced by 55%, for the X2816A, without increasing access time. The standby mode is achieved by applying a  $\overline{CE}$  high signal.

The X2816A and X2804A are fabricated with the same reliable n-channel floating gate MOS technology used in Xicor's popular 5-Volt programmable NOV<sup>2</sup>RAM\* memories.

MODE SELECTION

Standard Xicor 5V Programmable Mode

$\overline{CE}$	$\overline{OE}$	WE	MODE	I/O	POWER
L	L	H	Read	D <sub>OUT</sub>	Active
L	H	L	Write	D <sub>IN</sub>	Active
H	X	X	Standby and Write Inhibit	High Z	Standby
X	L	X	Write Inhibit	—	—
X	X	H	Write Inhibit	—	—

\*NOV<sup>2</sup>RAM is Xicor's nonvolatile static RAM device

© Xicor, 1984 Patents Pending

Characteristics subject to change without notice

Xicor

MEMORY

**APENDICE A-3**

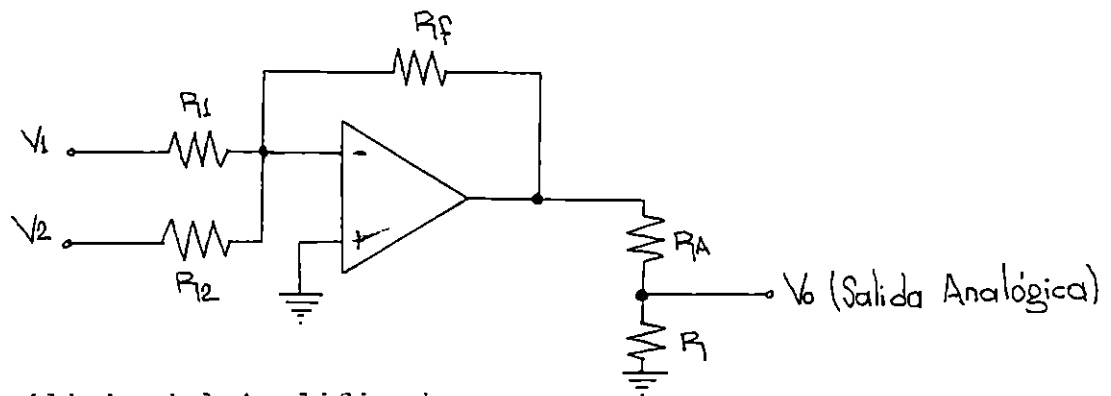
### Cálculo de Resistencias en Circuito Digital:

En Electrónica digital el cálculo de los componentes pasivos es un punto muy importante, ya que su adecuado dimensionamiento garantiza el correcto funcionamiento de los dispositivos TTL (los cuales forman en su gran mayoría la base del "Simulador de Termocuplas").

El cálculo de las resistencias ha sido hecho tomando como base el siguiente criterio: Tomando como referencia el valor de la corriente de la compuerta en estado bajo, se calculó que la caída de voltaje en ésta, no fuera lo suficientemente grande como para que genere un estado lógico alto que pueda dar lugar a un mal funcionamiento.

### Cálculo de Resistencias para Circuito Analógico:

En base al circuito:



Del análisis del Amplificador:

$$V_{sal} = (R_f/R_1)*V_1 + (R_f/R_2)*V_2$$

Ajustando las ganancias a nuestra conveniencia de la siguiente manera:

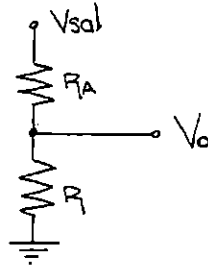
$$R_f/R_1 = 10 \quad R_f/R_2 = 1/10$$

Y tomando un valor inicial para  $R_f = 10 \text{ K}\Omega$  obtenemos:

$$\begin{aligned} R_1 &= 1 \text{ K}\Omega \\ R_2 &= 100 \text{ K}\Omega \end{aligned}$$



Pero el voltaje de salida está desfasado 100 veces el valor que nos interesa, por lo que se utiliza un divisor de voltaje:



Para este circuito tenemos:

$$V_o = (R \cdot V_{sal}) / (R_A + R); \text{ pero: } V_o = V_{sal} / 100$$

Resolviendo:

$$R_A = 99 \cdot R$$

$$\begin{aligned} \text{Para } R &= 100\Omega \\ R_A &= 9.9 \text{ K}\Omega \end{aligned}$$