

881217

UNIVERSIDAD ANAHUAC

3

ESCUELA DE INGENIERIA

Con estudios incorporados a la Universidad Nacional Autónoma de México

24



**DISEÑO DE UN TERMOMETRO DIGITAL CON LA CORRECCION
AUTOMATICA DE LA SOLDADURA FRIA DE UN TERMO PAR
DE FIERRO-CONSTANTAN**

T E S I S
QUE PARA OPTAR POR EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A
ALFONSO AGUIRRE COBO

ASESOR DE TESIS: ING. CARLOS TORNEL JAUREGUI

MEXICO, D. F.

1994

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

OBJETIVO	1
JUSTIFICACION	2
METODOLOGIA	3
ALCANCE	4
CAPITULO I	
ASPECTOS TEORICOS	5
1.1 INTRODUCCION	5
1.2 ANTECEDENTES HISTORICOS	7
CAPITULO II	
II.1 DIFERENTES TIPOS DE TERMOMETROS	10
II.1.1 TERMOPARES	10
II.1.2 TIPOS DE TERMOPARES EXISTENTES Y SUS CARACTERISTICAS	23
II.1.3 TUBOS DE PROTECCION PARA LOS TERMOPARES	25
II.2 SONDAS RESISTIVAS	28
II.3 ESPECIFICACIONES TENTATIVAS	29
CAPITULO III	
DISEÑO GENERAL	31
III.1 CONSIDERACIONES PRIMARIAS DE DISEÑO	31
III.1.1 TERMOMETROS ANALOGICOS	32

III.1.2	CIRCUITOS INTEGRADOS DE DISEÑO ESPECIAL	33
III.1.3	METAS DE DISEÑO	34
III.2	ALTERNATIVAS PARA EL AJUSTE DE LA CURVA	35
III.2..1	COMPENSACION DE LA UNION FRIA	35
III.2..2	LECTURAS EN TABLAS	43
III.2.2.3	MODELADO MATEMATICO	44
III.2.2.4	PROCEDIMIENTO DE AJUSTE	45
III.3	ALTERNATIVAS DE EMPAQUETAMIENTO EN MEMORIA	49
III.4	CONCLUSIONES	52
III.5	DIAGRAMA A BLOQUES DEL PROCEDIMIENTO DEL PROGRAMA	54
III.6	DISEÑO GENERAL A BLOQUES DEL CIRCUITO	55
III.7	RESUMEN A BLOQUES	57
III.8	CONSIDERACIONES IMPORTANTES DEL DISEÑO	65
CAPITULO I V		
CONSTRUCCION		67
IV.1	CONVERTIDOR ANALOGICO DIGITAL	67
IV.1.2	TIPOS DE CONVERTIDORES A/D	68
IV.1.3	COSTO	71
IV.1.4	ELECCION DEL CONVERTIDOR	71
IV.1.4.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	74

IV.1.4.2	PRECISION	74
IV.1.4.3	VELOCIDAD	76
IV.1.4.4	COSTO	77
IV.1.4.5	ELECCION DEL CAD	77
IV.1.5	CONVERTIDOR ICL7109	79
IV.2	MICROPROCESADOR	88
IV.2.1	ARQUITECTURA DEL SISTEMA	89
IV.2.2	ORGANIZACION INTERNA DEL Z80	92
IV.3	DETECCION DE LA TEMPERATURA AMBIENTE	96
IV.3.1	CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO	97
IV.4	ELECCION DEL MULTIPLEXOR	100
IV.5	ELECCION DEL DISPOSITIVO DE ENTRADA/SALIDA	103
IV.6	RESUMEN	104
IV.6.1	ADQUISICION	106
IV.6.2	PROGRAMA	109
CAPITULO V		
PROGRAMACION		110
V.1	INTRODUCCION	110
V.2	DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA PRINCIPAL	111
V.3	PLANTEAMIENTO DEL PROGRAMA "TEMPERATURA DEL TERMOPAR"	114

TABLA 1

TABLA 2

TABLA 3

TABLA 4

TABLA 5

TABLA 6

TABLA 7

TABLA 8

LISTADO I

LISTADO II

PROGRAMAS

BIBLIOGRAFIA

OBJETIVO

Se pretende plantear una alternativa viable para la fabricación de termómetros industriales con tecnología nacional, a un costo competitivo. Con el propósito de satisfacer un alta rango de necesidades que actualmente se tienen en la manufactura de productos.

Así mismo se quiere mejorar la calidad en proceso de todo producto en el cual la temperatura intervenga.

JUSTIFICACION

Actualmente se carece de controles en el proceso de manufactura, y de haberlos, son de importación y a un costo excesivo; es por eso, que se quiere fabricar un dispositivo capaz de monitorearlos y controlarlos.

METODOLOGÍA

Primeramente se buscará información sobre el funcionamiento fundamental de los termómetros, esto con el fin de conocer los principios fundamentales, características y sus rangos.

También se estudiarán los diferentes tipos, para justificar el uso de termopares.

Se buscará una solución para la compensación de la soldadura fría por lo que se profundizará en el estudio de termopares con la finalidad de escoger el mejor método.

Una vez que se tenga claro el porque se escogió el termopar y su compensación se procederá a definir y diseñar el control automático de estos dispositivos.

Se buscará en el mercado nacional los componentes que satisfagan el diseño del termómetro, esto con el propósito de no crear una dependencia en el extranjero.



ALCANCE

- a) Haremos un estudio profundo de una alternativa, elegida previamente por sus características generales. Se planteará el diseño a bloques y la justificación del porque no llevamos este proyecto a su fabricación.

- b) No se consideraran soluciones, aparentemente más económicas, que involucren dependencia tecnológica externa, por componentes no fabricados en México a corto plazo, por volúmenes de producción no absorbibles en el mercado nacional o por técnicas y entornos productivos no disponibles en el país.

CAPITULO I

ASPECTOS TEORICOS

I.1 INTRODUCCION

En esta tesis se plantea la necesidad de fabricar un termómetro, el cual pueda ser capaz de resolver problemas de control en la industria.

En general la industria se preocupa cada día más por aprovechar al máximo la energía. Esa preocupación y el deseo constante de mantener patrones homogéneos de calidad en sus productos son posiblemente los motivos fundamentales que han impulsado el creciente uso industrial de termómetros y controles de temperatura.

Poco a poco se irá desglosando a través de la teoría el resultado final, primeramente se hablará de termómetros, su aplicación y diferentes tipos. Una vez entendido el concepto de medición de temperatura y conociendo la diversidad de métodos de medición de ésta, se escogerá entre ellos uno que nos solucione y cumpla con los requerimientos de tener un alto rango de aplicaciones, sobre todo en el área que más nos interesa para este proyecto, la cual es la industrial.

El dispositivo de medición escogido va a ser el termopar.

Nacerán nuevas necesidades de diseño al escogerse el termopar, necesidades como es la compensación de la soldadura fría, por lo cual se estudiará la metodología para hacer dicha compensación, analizando cual de éstos es el más viable.

Posteriormente se hará un análisis de como se van a controlar los dispositivos envueltos, para lo cual, se hablará del uso de un microprocesador capaz de controlar automáticamente toda la operación. Este tendrá la capacidad de contemplar mejoras futuras, las cuales se comentarán.

Se deberá controlar un dispositivo analógico (termopar) de comportamiento no lineal, llamando a este control una forma de interpretar las lecturas analógicas traducidas a digitales, por medio de un convertidor **A/D** y poder de alguna forma hacer un patrón el cual nos sirva de referencia; preciso y confiable, ya que se espera que nuestro termómetro tenga un error o diferencia de exactitud mínima.

Para crear el patrón se consideraron dos alternativas, la primera de ellas será la de la utilización de la fórmula del comportamiento de los termopares y la segunda es la de alimentar en memoria una tabla de equivalencia grado a grado. De ahí veremos el progreso tecnológico en el transcurso del tiempo y se analizará el costo-beneficio de utilizar una u otra y su justificación.

Existen actualmente muchos tipos de termómetros industriales, como se verá con más detalle posteriormente.

La realidad nacional nos enseña que nuestras industrias utilizan menos termómetros de los que debieran, los compran muy caros, dependen totalmente de fabricantes extranjeros y con frecuencia eligen modelos muy antiguos y de dudosa calidad.

Creemos que en esta área, como en muchas otras, es importante empezar cuanto antes a desarrollar una tecnología propia que nos libere de esa dependencia, ya que como ocurre frecuentemente en electrónica, los productos modernos son cada vez más complejos tecnológicamente y sin embargo más baratos, lo que nos llevara pronto a un punto en que no sea costeable el desarrollo propio, dejándonos sometidos para siempre a la esclavitud más peligrosa: la tecnología.

I.2 ANTECEDENTES HISTORICOS

Fue en el año de 1592 cuando se le adjudicó a Galileo la invención del termómetro. Este consistía en un recipiente abierto, lleno de alcohol con colorante en el cual se

suspendía un tubo de cuello delgado y largo con una esfera hueca al final. Al expandirse el aire dentro de la esfera éste hacía que se moviera, ocasionando un movimiento de arriba hacia abajo. Al no tenerse marcación alguna, se tenía una mala idea del cambio de temperatura.

Con el termómetro de Florentine se tuvieron grandes cambios ya que éste estaba cerrado y contaba con escala, dando una mayor exactitud.

Básicamente todos los termómetros que se construyeron después de éstos, eran parecidos, y se basaban principalmente en dos o más puntos fijos, hasta llegar al año de 1700, en el cual el alemán Gabriel Fahrenheit elaboró varios termómetros de mercurio los cuales fueron repetitivos y exactos.

Las referencias que utilizó fueron por un lado una mezcla de agua, hielo y sal (cloruro amónico), la cual fue la temperatura más fría que pudo alcanzar y a la que llamo cerogrados. Para el límite superior utilizó la temperatura de la sangre en un ser vivo, llamándola 96 grados.

Los termómetros de Fahrenheit se hicieron muy populares principalmente por su calidad y su repetitividad.

En el año de 1742 Anders Celsius propuso que el punto de fusión del agua y la temperatura a la cual hervía, fuesen sus límites; llamándolos 0 y 110 grados

respectivamente, posteriormente estos fueron intercambiados y así nació el nombre de Centígrado. En 1948 se cambió el nombre al de Celsius.

A principios de los años 1800 William Thomson (Lord Kelvin) desarrolló una escala universal termodinámica. Esta se basaba en el coeficiente de expansión de un gas ideal.

Kelvin estableció el concepto de cero absoluto y su escala permanece hoy en día como referencia en la termometría moderna.

CAPITULO II

II.1.- DIFERENTES TIPOS DE TERMOMETROS

Existen hoy en día muchos métodos de medición de temperaturas, pero para nuestros propósitos reduciremos el horizonte a los sensores industriales de tipo electrónico, a los que llamaremos transductores.

Son cuatro los transductores más comunes en la industria: el termopar, el RTD (detector de temperatura por resistencia), el termistor y por último el sensor de temperatura por medio de un circuito integrado. En la **tabla 1** se establece un cuadro comparativo entre ellos.

Podríamos extendernos bastante hablando de los termistores y los sensores en circuito integrado (básicamente sensores del tipo transistor) pero no es ese nuestro objetivo, ya que ninguno de estos transductores nos puede servir en un ambiente industrial, en el que se necesitan cubrir temperaturas de al menos 300° C.

Nos ocuparemos pues exclusivamente de los termopares y de las sondas resistivas (RTD), cuyo funcionamiento explicaremos a continuación.

II.1.1.- TERMOPARES

En 1821 Seebeck descubrió que cuando se unen dos metales formando un circuito serie y con uniones a diferente temperatura circula una corriente. Peltier, en 1834,

observó por lo contrario que una de las uniones se calentaba y la otra se enfriaba al circular corriente por el circuito.

Los termopares están compuestos de dos alambres homogéneos, de composición química diferente, éstos están soldados por uno de sus extremos mientras que en los otros se pone un indicador, formando así un circuito cerrado. El extremo que se encuentra soldado lleva el nombre de soldadura o unión caliente y es el que se pone en contacto con el medio a medir, mientras que el otro extremo se llama unión o soldadura fría. **Figura 1.**

Entre los extremos de la unión fría existe una diferencia de potencial. Para cambios pequeños en la temperatura, la tensión de Seebeck es linealmente proporcional a la temperatura:

$$E_{ab} = \zeta T$$

Donde, ζ es el coeficiente de Seebeck, o constante de proporcionalidad.

La medición de temperaturas a través de un termopar es posible, ya que al encontrarse las uniones de éste a diferente temperatura se produce una fuerza electromotriz.

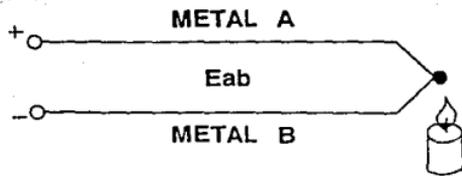


Figura 1

Termopar

Para establecer la relación entre la unión caliente y la f.e.m. se debe mantener la soldadura fría a una temperatura constante y reproducible, esto se puede lograr calibrando el termopar por diferentes medios o bien poniendo la soldadura fría en una temperatura de referencia como puede ser el punto de fusión de hielo. La relación entre la unión caliente y la f.e.m. es casi lineal como se verá más adelante. En la **figura 2** se puede apreciar un ejemplo de un termopar.

La fuerza electromotriz que se produce obedece a dos efectos termoeléctricos combinados los cuales son: el efecto Peltier y el efecto Thomson.

Efecto Peltier.-

Cuando dos alambres metálicos homogéneos, de diferente composición química se ponen en contacto eléctrico uno con otro, esto produce en la unión una diferencia de potencial entre los dos metales. Esta diferencia de potencial depende de la temperatura de la unión y de la composición química de los metales.

Generalmente la diferencia de potencial crece con la temperatura pero en algunos casos, como el caso del hierro-cobre, se alcanza un máximo y a partir de éste decrece este potencial al aumentar la temperatura.

En la **figura 3** se ilustra el efecto Peltier, en el cual se forma una cruz térmica por la unión de dos metales distintos y se le hace pasar una corriente en uno u otro sentido con el interruptor K2 abierto, después de cada paso de corriente se abre y cierra K1 y

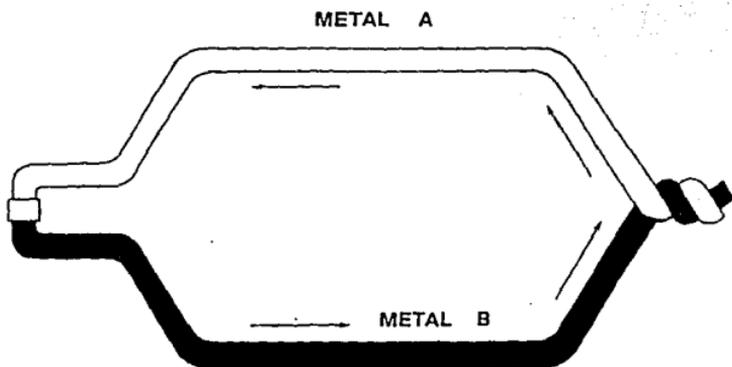


Figura 2

Termopar

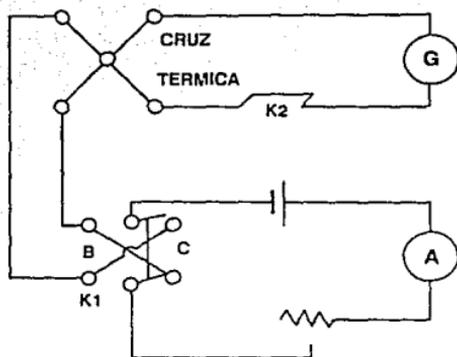


Figura 3

Efecto Peltier

k2 respectivamente desconectándose así la pila y se lee en el galvanómetro la f.e.m. creada, la cual es proporcional a la temperatura alcanzada por la cruz térmica.

Efecto Thomson.-

Cuando se calienta alambre homogéneo en cualquiera de sus extremos, ya sea el caliente o el frío esto produce un gradiente de temperatura. Generalmente el potencial en la unión caliente es más elevado. En ciertos metales y aleaciones el efecto Thomson puede invertirse a temperaturas elevadas, no siendo estos adecuados para la construcción de termopares.

Un circuito en el cual se puede describir el efecto Thomson se ve en la **figura 4**, donde se tiene una varilla MN y un termopar diferencial aislado AB, por otro lado se tiene una bobina H para calentar la varilla AB. Al calentar con la bobina uno de los extremos se presentará una diferencia de temperatura con el otro lo cual va a detectar el galvanómetro; ahora al pasar corriente por la barra MN, se detectará un aumento o disminución de temperatura dependiendo del sentido en el que esté circulando la corriente.

A causa de estos dos efectos circula la corriente al cerrar el circuito en un termopar. De la exposición anteriormente analizada se deduce que la fuerza electromotriz neta que se crea en el sistema termoeléctrico es una suma de las siguientes f.e.m.:

- 1.- Fuerza electromotriz Peltier en la unión caliente.

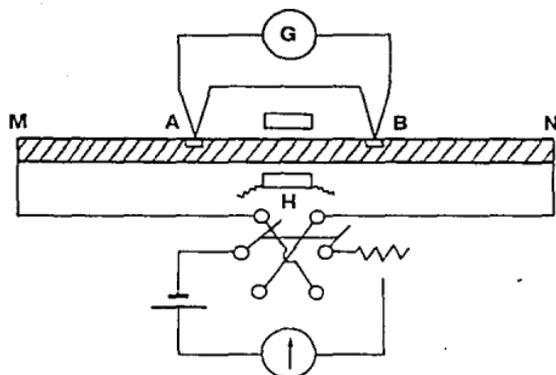


Figura 4

Efecto Thomson

2.- Fuerza electromotriz Peltier en la unión fría.

3.- Fuerza electromotriz Thomson a lo largo de uno de los alambres del termopar.

4.- Fuerza electromotriz Thomson a lo largo del otro alambre del termopar.

Ahora si se considera que "E" es el valor de esta f.e.m., t₁ es la temperatura de la unión caliente, y t₂ la temperatura a la que se encuentra la unión fría, se puede decir que:

$$E = a(t_1 - t_2) + b(t_1^2 + t_2^2)$$

donde a y b son constantes que dependen de los metales usados; siendo "a" el que tiene mayor efecto.

Si se tiene la unión caliente en el medio a medir y manteniendo la temperatura de la soldadura fría a una temperatura menor, esto da origen a que circule en el circuito una corriente, su valor va a depender de los valores relativos de t₁ y t₂.

Para hacer mediciones de temperaturas dignas de confianza es necesario una de las dos siguientes opciones:

a) Mantener la temperatura de la unión fría constante (t₂).

b) Introducir en el circuito algún tipo de compensación el cual nulificaría cualquier cambio que haya en t₂.

Gracias a estudios realizados sobre el comportamiento de los termopares se han podido establecer tres leyes fundamentales:

1.- "Ley del circuito homogéneo", la cual se define como: en un conductor metálico homogéneo no puede sostenerse la circulación de una corriente eléctrica por la aplicación exclusiva de calor.

2.- "Ley de los metales intermedios", la cual postula que si en un circuito de varios conductores la temperatura es uniforme desde un punto A a otro B, la suma algebraica de todas las fuerzas electromotrices es totalmente independiente a los conductores metálicos intermedios y es la misma que si se pusieran en contacto directo A y B.

3.- "La ley de las temperaturas sucesivas", si se tiene la unión caliente en la temperatura t_1 y la fría a la temperatura t_2 entonces la f.e.m es producida por:

a) Con la unión caliente en t_1 y la unión fría en t_3 .

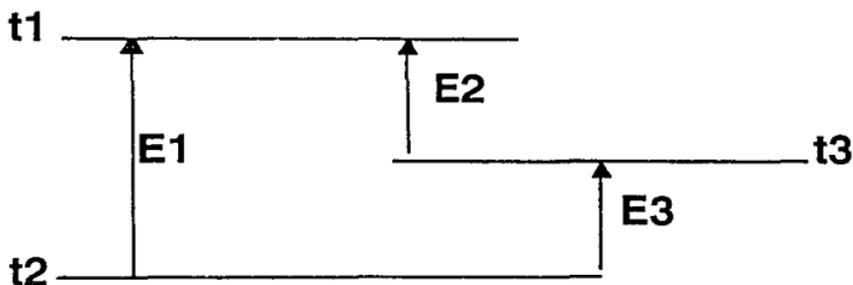
b) Con la unión caliente en t_3 y la unión fría en t_2 . ,donde t_3 es una temperatura intermedia entre t_1 y t_2 .

Esta ley se muestra en la **figura 5** y la "E" resultante sería suma de las otras "E" como se muestra:

Observando estas tres leyes vemos que en el circuito se desarrolla una pequeña tensión la cual es continua y proporcional a la temperatura de la unión media, esto es

$$E1 = E2 + E3$$

$$t1 \text{ (E1 t2)} = t1 \text{ (E2 t3)} + \text{(t3 E3) t2}$$



$$E1 = E2 + E3$$

Figura 5

Ley de las Temperaturas Sucesivas

siempre que haya una diferencia de temperaturas con la unión de referencia (unión fría). Estos valores se tabulan en tablas de conversión y teniendo la unión de referencia a 0 grados centígrados (temperatura de fusión del hielo). **Tabla 2.**

En la **figura 6** se pueden apreciar algunas curvas características de los termopares las cuales nos dan la relación entre la f.e.m. y la temperatura. Así mismo en la **tabla 3** se muestra los termopares más comunes, la f.e.m. que pueden desarrollar, sus temperaturas óptimas de trabajo y su composición química.

De lo anterior se puede poner en evidencia, que cualquier pareja de metales diferentes pueden ser empleados para la construcción de un termopar, pero en el caso de la pirometría termoeléctrica solo pueden ser empleadas aquellas combinaciones que reúnen ciertas características las cuales son:

- 1.- La f.e.m. termoeléctrica debe crecer uniforme y continuamente con la temperatura, y para cualquiera de ellas la magnitud debe ser lo suficientemente grande para que se pueda medir con suficiente exactitud.
- 2.- Los dos metales que formen el par deben ser razonablemente resistentes a la corrosión, contaminación y oxidación a temperaturas elevadas.
- 3.- Las características termoeléctricas de los termopares no deben cambiar durante su calibración y el uso.

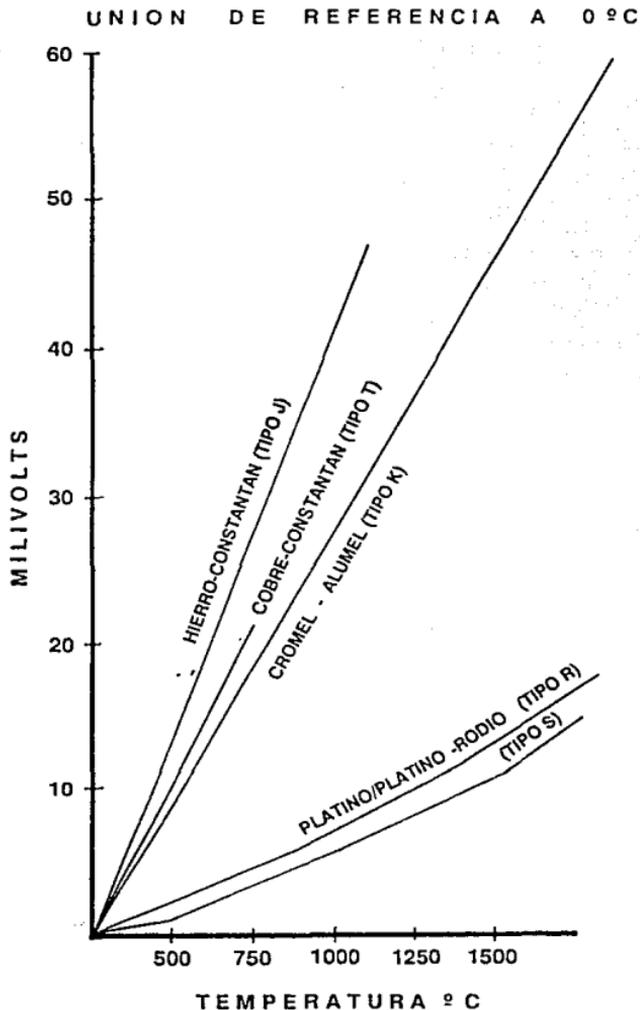


Figura 6

Curvas Características f.e.m./Temperatura de los Termopares

4.- Los dos metales deben ser reproducibles, en lo que a calidad y características termoeléctricas se refiere.

5.- Las temperaturas de fusión de los dos metales deben estar por encima del campo de empleo del termopar.

Cuando el termopar lo queremos usar en temperaturas bajas, la unión de los dos alambres (soldadura caliente) se puede hacer con soldadura de plata, esta formaría un tercer metal en dicha unión, pero no influye en la f.e.m generada. A temperaturas altas esta unión puede hacerse fundiendo conjuntamente los extremos de los alambres mediante un arco eléctrico o llama de oxígeno. Ahora si nosotros queremos aumentar la resistencia mecánica de dicha unión debemos de enrollar dichos alambres varias veces en sus extremos antes de fundirlos.

Existen diferentes tipos de termopares, para seleccionarlos, se tendrá que ver en que medio se van a utilizar. En la **figura 7** se ven los rangos de funcionamiento, base para la selección de los termopares.

II.1.2.- TIPOS DE TERMOPARES EXISTENTES Y SUS CARACTERISTICAS

Termopar tipo T, o cobre-constantán, tiene una elevada resistencia a la corrosión y por lo tanto puede ser usado en atmósferas oxidantes o reductoras. Se utiliza

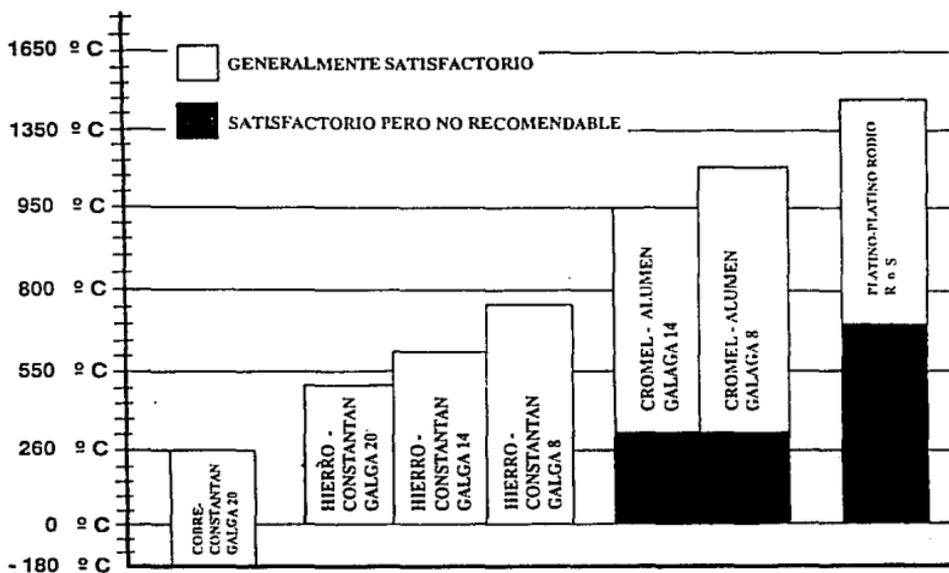


Figura 7

Selección de Termopares

preferencialmente en temperaturas entre los rangos de -200 a +260 grados centígrados.

Termopar tipo **J**, o de hierro-constantán, es adecuado en atmósferas con escaso oxígeno libre. La oxidación del hierro aumenta rápidamente por encima de 550 grados centígrados, siendo necesario un mayor diámetro del hilo hasta una temperatura límite de 750 grados C.

El termopar tipo **K** o de cromel-alumel, se recomienda en atmósferas oxidantes y a temperaturas de trabajo entre 500 y 1000 grados C.. No debe ser utilizado en atmósferas reductoras ni sulfurosas a menos que esté protegido con tubo de protección.

El termopar **R** y **S** de platino - platino rodio se emplean en atmósferas oxidantes y temperaturas de trabajo hasta 1500 grados C. No debe ser utilizado en atmósferas reductoras ni sulfurosas a menos que esté protegido con un tubo cerámico estanco.

II.1.3.- TUBOS DE PROTECCION PARA LOS TERMOPARES.

Para mantener la calibración y sobre todo para prolongar la vida útil de los termopares, es preciso protegerlos, debido a que algunos trabajan a temperaturas altas o en medios corrosivos, así se evita la oxidación excesiva y también se protegen contra la corrosión.

Esta protección se consigue introduciendo el termopar en un tubo de protección **figura 8**. Estos tubos pueden ser de metal o refractarios los cuales se encuentran cerrados por uno de sus extremos. Se debe utilizar generalmente la menor protección compatible con las características del termopar; si el tubo de protección tiene paredes excesivamente gruesas, se reduce su sensibilidad y responde con retraso a los cambios de temperatura, en especial si son pequeños.

Los materiales que se usan para la fabricación de tubos de protección deben de tener ciertas características entre las cuales se citan las siguientes:

- 1.- Estos deben tener una continuidad térmica relativamente elevada, por la cual la presencia del tubo no retarde demasiado las respuestas del termopar a los pequeños cambios de temperatura.
- 2.- Los tubos de protección deben de tener capacidad para resistir durante mucho tiempo las temperaturas elevadas a las que se someten los termopares, estos no deben deteriorarse ni agrietarse seriamente.
- 3.- Los tubos deben de tener la suficiente rigidez para que estos no se deformen al elevarse las temperaturas.
- 4.- Deben de tener una resistencia a los choques y al manejo normal, tanto a las temperaturas bajas, en las altas o en las ordinarias.

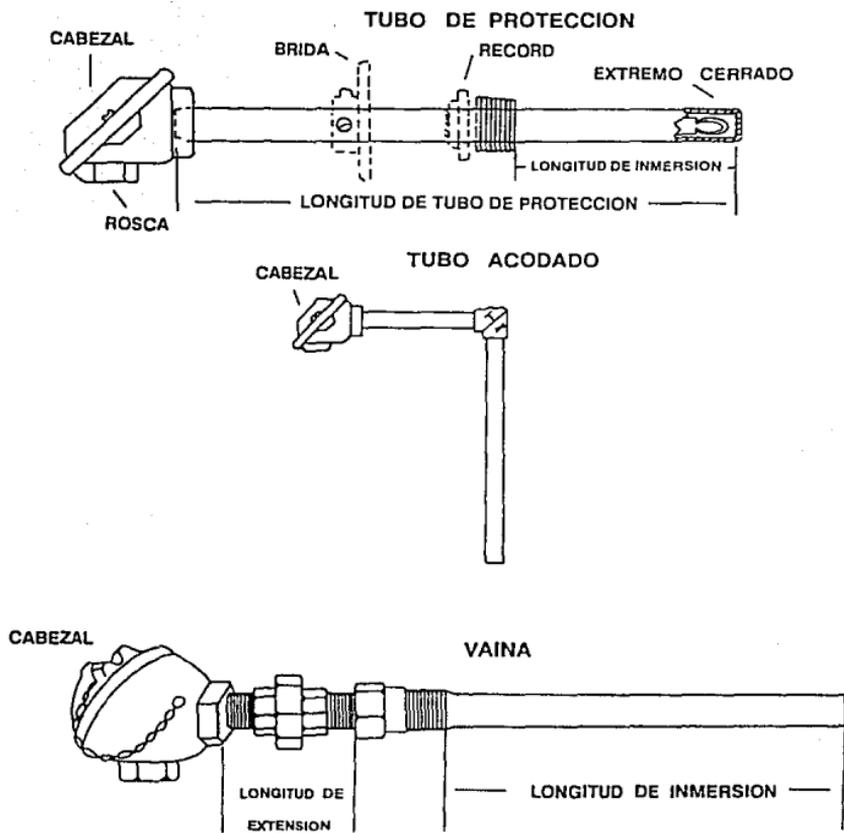


Figura 8

Tubos de Protección y Vainas
para Termopares

La **tabla 4** nos muestra una guía de selección de tubos según la aplicación a la que se vayan a utilizar.

II.1.2 SONDAS RESISTIVAS

Se basan en la variación de resistencia que experimenta un metal o aleación, donde se controlan las dimensiones y composición química; ésta se debe a cambios en temperatura.

Aunque no es una variación lineal, sí resulta más lineal que el termopar, de gran exactitud, y totalmente estable.

Aunque hoy por hoy son los mejores transductores disponibles, las sondas resistivas son el método más caro y delicado para medir temperaturas.

Por desgracia, las ventajas no superan los muchos inconvenientes que dificultan su uso, al punto que resulta muy raro encontrar este tipo de sensores en la industria.

Ya que nuestro objetivo no es hacer un termómetro de precisión, sino antes bien uno robusto, la elección es de antemano el termopar, el cual es usado en más del 80% de las aplicaciones industriales. No profundizaremos más en este transductor pues, citando para el lector interesado la obra de Creus "Instrumentación Industrial" como fuente de información al respecto.

II.2 ESPECIFICACIONES TENTATIVAS

Una vez que se definió el sensor de temperatura a utilizarse, pasaremos a estudiar el diseño general del termómetro. En este momento con lo único con lo que contamos es con una salida analógica, en los extremos del termopar.

Principalmente se pensó en un termómetro versátil, digital, robusto antes que preciso y preciso antes que barato. El termómetro debe ser versátil ya que se debe de usar en diferentes ambientes industriales como son: el adaptarse a aplicaciones tanto de medición como de control, diferentes intervalos de temperatura, aplicaciones aisladas o redes completas de automatización, etc. Obviamente esta versatilidad se vera limitada por el costo o bien, cuando se imponga una excesiva complejidad del instrumento.

Hoy en día es muy importante que cualquier dispositivo o instrumento que introduzcamos en la industria sea capaz de automatizarse, esto es, prestarse al control de procesos, de aquí la necesidad de hacer un termómetro digital, además será un factor importante para aumentar su versatilidad a bajo costo.

Más que un instrumento de gran exactitud queremos un termómetro capaz de ser usado en cualquier ambiente de trabajo, por lo que hablaremos de un diseño "robusto".

Lo anterior quiere decir que nuestro termómetro debe poder soportar las condiciones de trabajo propias de la industria en general: temperaturas y humedad variables, tensión de alimentación poco controlada, ruido eléctrico, etc.

No queremos reproducir los engendros arcaicos que aún se ven en la industria: aparatos que hay que recalibrar a diario, sensibles a cualquier vibración o golpes, etc..

Sin embargo tampoco queremos un instrumento "barato", como también hemos visto algunos, que bajo pretexto de un costo accesible presentan errores de lecturas de hasta 10% en algunas zonas de trabajo.

Una decisión que parece inevitable es la de basar nuestro diseño en un microprocesador, eligiendo probablemente para ello uno que tenga ya un campo de aplicación fuerte en el mercado, para no depender demasiado de un cierto fabricante.

Sin embargo, ese y otros puntos de partida para el diseño podrán discutirse, y es lo que haremos en el siguiente capítulo.

CAPITULO III

DISEÑO GENERAL

En este capítulo pretendemos analizar brevemente algunas alternativas interesantes que podrían definir una línea diferente para el diseño del termómetro. Como ya dijimos, la única opción válida en cuanto a transductores es el termopar, pero existen varias formas de manejarlo.

Una vez decidido el diseño general se podrá plantear a grandes rasgos el diseño del circuito y fijar las condiciones principales para pasar al diseño de detalle.

Primeramente a bloques y posteriormente fijando las condiciones principales, haremos el diseño a detalle.

III.1.- CONSIDERACIONES PRIMARIAS DEL DISEÑO

Existen hoy día un buen número de termómetros y de controladores de temperatura basados en un microprocesador, ya sea de uso general o de diseño específico para la aplicación.

Viendo lo que se ofrece en el mercado, parece obvio que la tendencia de diseño es la utilización, de un microprocesador con un buen convertidor analógico-digital. Sin embargo, existen otras opciones que es preciso analizar.

III.1.1.- Termómetros analógicos.

Un buen número de diseños todavía en uso pretenden utilizar la respuesta del termopar mediante el uso de circuitos analógicos. Aunque el método resulta muy económico, por lo general presenta tres fuertes inconvenientes:

A) Es muy sensible a cualquier agente externo (variación de tensión, temperatura, etc) por lo que en su uso se requieren frecuentes calibraciones.

B) El proceso de fabricación exige alguna etapa de ajuste, delicada y lenta, por lo que un técnico costoso deberá pasar un tiempo apreciable variando potenciómetros o cambiando componentes fijos.

c) Necesariamente hay que elegir un intervalo, no muy amplio, de temperaturas, para el cual se ajustara el instrumento, obteniendo en el resto del campo de medición una precisión bastante pobre.

Hoy en día se encuentran circuitos integrados que facilitan mucho este tipo de diseños, como el AD594 de "Analog Devices", con los cuales los dos inconvenientes mencionados en primer lugar desaparecen. Subsiste, sin embargo, el problema de la precisión, que definitivamente nunca es muy bueno con este tipo de termómetros analógicos.

Además decidimos no utilizar ese tipo de circuitos porque supone una dependencia absoluta de un solo fabricante. En efecto no existen segundas fuentes para esos integrados, y además el costo del circuito es bastante fuerte. Un termómetro realizado con el AD594, por ejemplo, tendría un 80% de su costo total en el puro circuito integrado, y aunque dicho costo probablemente sería mas bajo que el de un termómetro digital, la dependencia del fabricante del integrado contradice nuestro objetivo, el de impulsar el desarrollo de tecnología propia.

Por otro lado, la versatilidad de estos termómetros es nula. No es posible utilizarlos con otro termopar diferente de aquel, para el que fueron diseñados, no permiten fácilmente la incorporación a una red automática y no es fácil obtener salidas remotas.

III.1.2.- Circuitos integrados de diseño especial.

Existe la posibilidad de usar circuitos integrados diseñados específicamente para un uso particular. Es lo que se conoce como circuito "custom" o "semi-custom", y hoy día es una alternativa viable en muchos países con tecnología media.

Sin embargo tampoco en este caso se cumple con el objetivo ya mencionado de desarrollar tecnología nacional, y además nos enfrentamos al problema de nuestro reducido mercado. Las series de fabricación para este tipo de circuitos "semi-custom" son bastante fuertes, para que el costo de las mascareras se diluya entre la cantidad de piezas fabricadas. Y aunque existen muchas opciones en el mercado internacional,

ninguna es viable para menos de diez mil piezas, cifra demasiado fuerte para pensar en un lanzamiento "experimental".

III.1.3.- Metas de diseño

A la luz de lo expuesto, podemos resumir las características deseadas en nuestros termómetros como sigue:

- A) Deberá usar un termómetro, a ser posible intercambiable, de modo que el mismo instrumento pueda funcionar con un tipo J o un tipo K, con cambios mínimos.
- B) Deberá estar basado en un microprocesador y un convertidor, ambos del tipo comercial, de bajo costo y cuya oferta en el mercado sea abundante y variada, para no estar sujetos a un solo fabricante.
- C) La versión económica del instrumento dispondrá de un visualizador que muestre la temperatura en grados centígrados y de un puerto de salida por donde sea posible enviar la lectura a un indicador remoto o una red automática.
- D) El mismo instrumento, con mínimas adiciones o modificaciones, deberá poder usarse como controlador de temperatura, aunque solo sea como control todo o nada, pudiendo programarse los puntos de activación y desactivación fácilmente, por vía manual o remota en caso de su inclusión en una red automática.

III.2.- ALTERNATIVAS PARA EL AJUSTE DE LA CURVA.

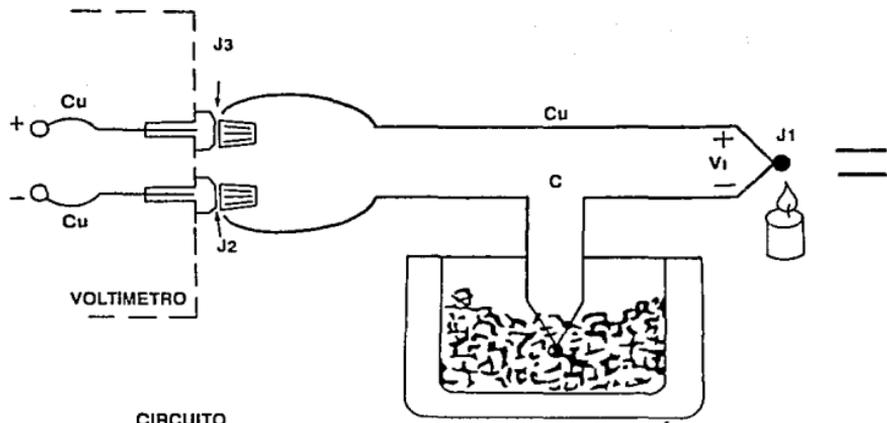
Dos son los problemas que engloba este concepto: la lectura de las tablas propias del termopar y la llamada compensación de soldadura fría. Empezaremos por este último punto.

III.2.1.- COMPENSACION DE LA UNION FRIA

En el capítulo I se vio que los termopares consisten en dos alambres de diferente composición química unidos entre sí; uno de sus extremos es llamado unión caliente y el otro unión o soldadura fría. Variando la temperatura de la unión fría, se manifiestan los efectos Peltier y Thomson a lo largo de los alambres, lo que ocasiona que se introduzcan errores en las mediciones de las temperaturas; para evitar esto, es necesario mantener la temperatura de la unión fría constante o, de no ser esto posible, emplear métodos que compensen el error producido.

Para ilustrar mejor lo anterior se explicará un caso práctico: veamos la **figura 9**, donde tenemos un termopar de Co-constantán con el que podemos medir la tensión de Seebeck.

Debido a que no se puede medir directamente la tensión de Seebeck, se tiene que conectar un voltímetro al termopar. Al conectarlo se hace un nuevo circuito termoelectrónico.



CIRCUITO EQUIVALENTE

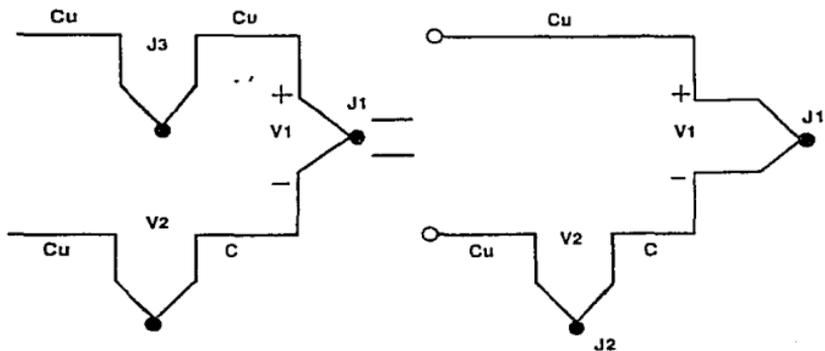


Figura 9

Termopar Co-Constantán

Se quiere leer por el voltímetro solamente V1, pero al conectarlo en un intento para medir la salida de la unión J1, hemos creado dos uniones metálicas mas, J2 y J3. Ya que J3 es una unión de cobre a cobre, no crea f.e.m. térmica ($V3 = 0$) pero J2 es cobre a constantán el cual añade f.e.m. ($V2$) en sentido opuesto a V1. La lectura resultante en el voltímetro V será proporcional a la diferencia de tensión entre J1 y J2. Esto nos dice que no podemos encontrar la temperatura de J1 si no encontramos primero la temperatura de J2.

Un método para determinar la temperatura de J2 es poner físicamente la unión a la temperatura de fusión del hielo ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$) y estabilizar J2 como Unión de Referencia.

Viendo la **figura 10**, la lectura del voltímetro va a ser:

La lectura del voltímetros:

$$V = (V1 - V2) = \epsilon (Tj1 - Tj2)$$

Si se especifica Tj1 en grados Centígrados:

$$Tj1(^{\circ}\text{C}) + 273.15 = Tj1(^{\circ}\text{K})$$

V resulta:

$$V = V1 - V2 = \epsilon [(Tj1 + 273.15) - (Tj2 + 273.15)]$$

$$V = \epsilon (Tj1 - Tj2) = \epsilon (Tj1 - 0)$$

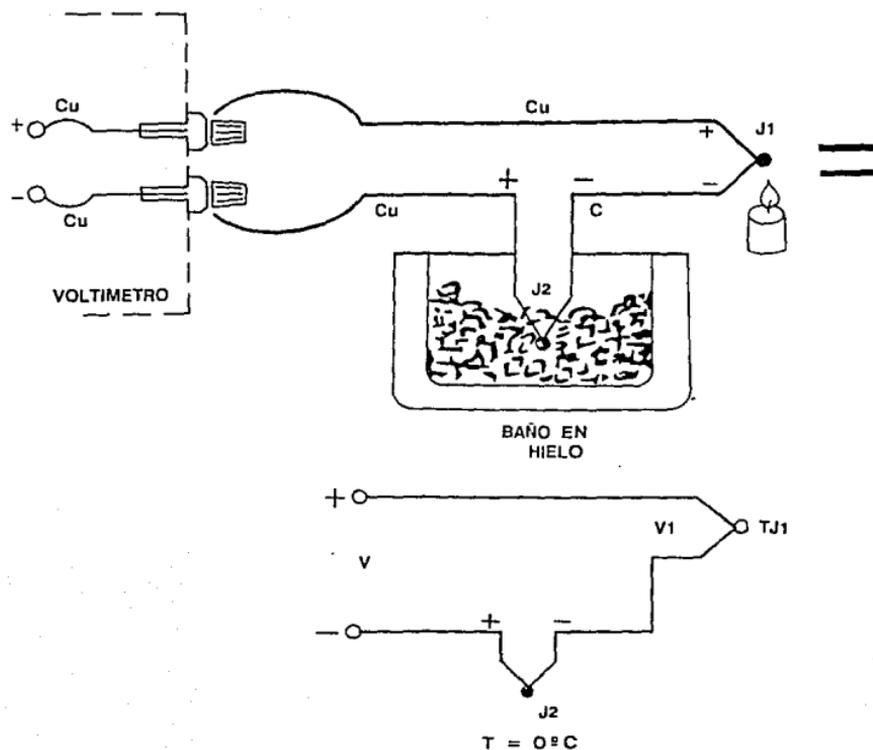


Figura 10

Unión de Referencia Externa

$$V = \epsilon T_{j1}$$

Se hizo todo este calculo para enfatizar que el punto de fusión del hielo, V_2 , no son cero volts.

Añadiendo la tensión de referencia del punto de fusión del hielo, se tiene ahora la lectura V a 0°C . Este método es muy exacto ya que la temperatura de fusión del hielo se puede controlar. Este punto es usado para las tablas de los termopares por la NBS (National Bureau of Standards), por lo tanto podemos mirar las tablas (**tabla 2**), y convertir la tensión " V " a la temperatura T_{j1} .

El termopar de cobre-constantán **figura 10**, es un ejemplo único ya que el alambre de cobre es el mismo que las terminales del voltímetro. Pero ahora usando uno de hierro constantán (tipo J) vemos que el alambre de hierro (**figura 11**) aumenta el numero de uniones desiguales en el circuito. Este dará mediciones relativamente precisas mientras las uniones J3 y J4 estén en oposición:

Las dos uniones deberán estar a la misma temperaturas; si no es así habrá un error. Para una medición mas precisa las puntas del voltímetro deberán ser extendidas de manera que la unión de cobre con hierro se haga en un block isotérmico (misma temperatura).

El bloque isotérmico es un aislante eléctrico pero un buen conductor del calor y funciona para mantener a J3 y J4 a la misma temperatura. La temperatura absoluta del

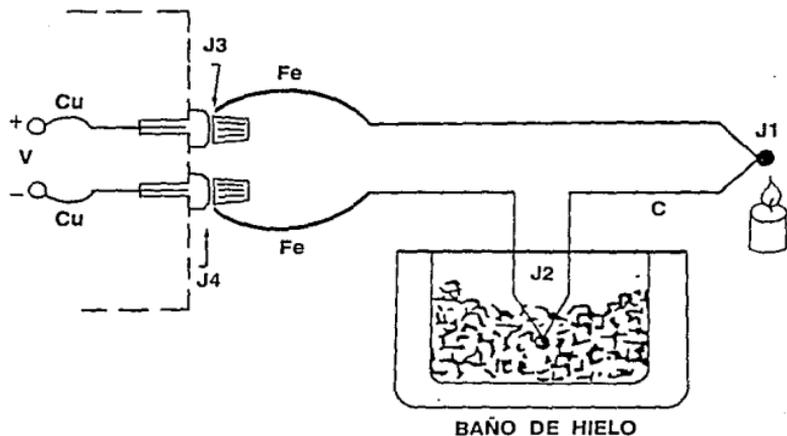


Figura 11

Termopar de Fierro Constantán

bloque no es importante ya que las dos uniones cobre-hierro están en oposición.

Además se sigue teniendo:

$$V = \epsilon (T)1 - T_{\text{ref}}$$

En si existen dos tipos de compensación las cuales son: compensación "software" y la otra es por medio de "hardware". La primera es una de las técnicas más versátiles, se pueden conectar muchos tipos de termopares en el mismo bloque y la técnica es independiente del tipo de termopar que se escoja. Todas las conversiones son efectuadas por la computadora. Una desventaja pudiera ser que la computadora requiere un poco mas de tiempo para calcular la temperatura de la unión de referencia.

Para una mayor rapidez se puede usar la compensación de "hardware". En lugar de medir la temperatura de referencia y calcular su voltaje equivalente, se puede poner una batería la cual cancele la tensión de "offset" producido por la unión de referencia. La combinación entre tensión de compensación por medio de "hardware" y la tensión de la unión de referencia es igual a la del punto de fusión del agua (0° C).

Como se puede apreciar en la **figura 12**, la tensión de compensación "e", es función de la resistencia sensora de temperatura, **RT**. Se toma como referencia 0° C para la tensión **V**, y después ya se puede leer la lectura directamente en las tablas de las **NBS**. Este sistema de compensación también puede ser llamado como compensación electrónica del punto de fusión. Su ventaja es que ya no se necesita calcular la temperatura de referencia.

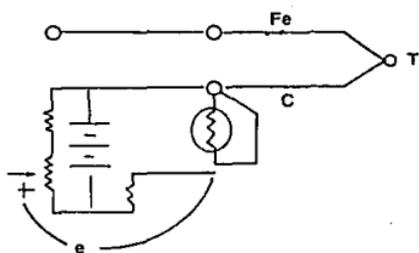
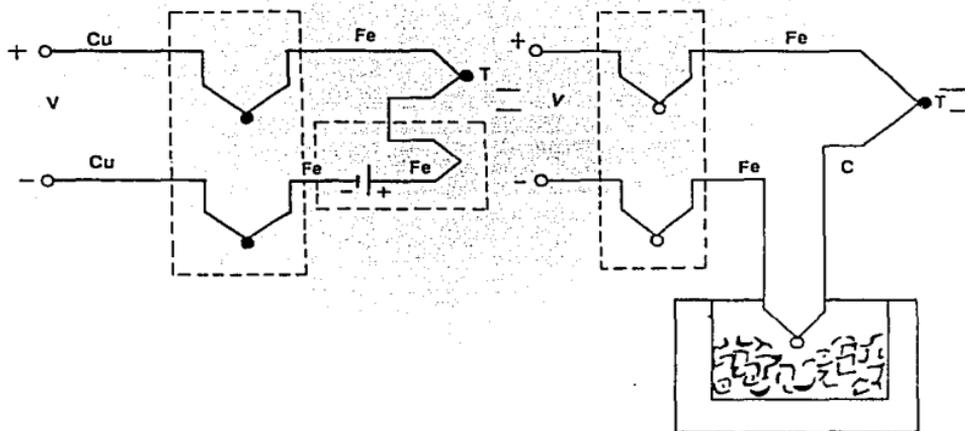


Figura 12

Tensión de Compensación "e"

III.2.2.- LECTURAS EN TABLAS

El método obvio, disponiendo de un microprocesador es alimentar las tablas en ROM y proceder a la búsqueda del valor de tensión leído en los extremos del termopar. Sin embargo, un pequeño calculo nos muestra que el procedimiento no permitiría satisfacer cómodamente la meta del diseño (ver III.1.3 inciso A).

Si consideramos el termopar tipo J, en un intervalo de trabajo de - 100 °C a + 700 °C tendremos una verificación de -4.632 mV a +39.13 mV, pudiendo aceptar errores del orden de 10 V, sin problemas. Significa que la tabla debe de ser de 800 puntos (precisión de 1C) cada uno de los cuales tendrá 3 dígitos (-4.63 x 10mV) o bien hasta cuatro dígitos (+3913 x 10mV). Si manejamos únicamente dos tipos de termopares (J y K), serán en total:

$$2 \times 800 \times 4 \text{ dígitos (caso peor)} = 6,400 \text{ dígitos}$$

Con una codificación BCD, empaquetando dos dígitos por byte, necesitamos 3K byte para empacar los valores de tensión, y eso no incluye las temperaturas correspondientes, que deberían obtenerse por un procedimiento indirecto a través de las direcciones de ROM. No es imposible, pero no parece tampoco muy agradable.

Se nos ocurre entonces que tal vez podría obtenerse una aproximación matemática a la curva.

III.2.2.3.- Modelado Matemático

Como se vio con anterioridad, los datos de las tablas ocupan demasiada memoria al ser alimentados en el microprocesador, no queriendo esto, nace la necesidad de contemplar como posibilidad el ajuste de la curva (comportamiento de los termopares) por medio de un modelo matemático.

Midiendo la f.e.m grado a grado hasta llegar a una temperatura de 760°C y extrapolando matemáticamente los siguientes datos fue la forma en la que se generaron las tablas de la f.e.m. de las NBS. Ya que el comportamiento del termopar de hierro-constantán no es muy estable se llevo hasta 1200°C .

Los datos con los cuales se logro el modelado de la curva original, fueron sacados de las tablas (**tabla 2**), estas muestran las f.e.m. que existe en los bordes de la unión fría. Según la necesidad, se ajustara la curva en una o varias, ya que como se ha mencionado, el comportamiento de los termopares no es lineal; con el fin de tener una mayor similitud a la original se partirá en donde existan puntos de inflexión significativos.

Dicho de otra forma, lo que se va a hacer es generar una nueva tabla (**tabla 5**), por medio de unas ecuaciones. Esta debe tener un error mínimo al compararse con la original (**tabla 2**). El error mínimo del cual estamos hablando, debe de ser mucho menor a temperaturas que se encuentran alrededor de los cero grados centígrados,

debido a que en este rango la diferencia de un solo grado llega a ser muy significativa, a temperaturas mayores de los 100° C no es necesaria tanta exactitud, sin exceder en ningún momento de cierto porcentaje, dicho porcentaje será dado mas adelante.

Hasta ahora se ha mencionado que la curva se va a ajustar con ciertas ecuaciones, pero no se ha dicho cuales son estas; estas son de la misma forma que las curvas que rigen el comportamiento del termopar: (ver curva termopar)

$$E = a + bT + cT^2 \dots\dots\beta$$

de donde: **E** es la f.e.m. generada.

a, b, c son constantes del termopar

T es la temperatura.

"E" se mide en milivoltios y "T" en grados centígrados.

III.2.2.4.- Procedimiento de ajuste

Una vez ya hecho un estudio de la curva original, al trazarla punto a punto como se muestra en la **figura 13**; nos damos cuenta que es necesario partirla en cuatro partes o cuatro curvas, a las cuales llamaremos A, B, C y D, las cuales comprenden los siguientes rangos de temperatura:

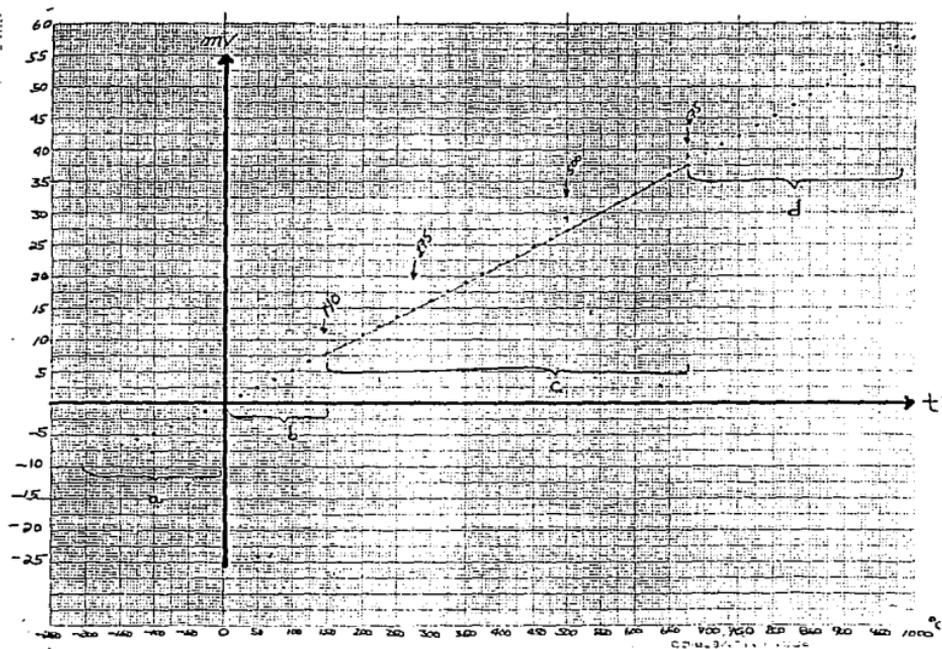


Figura 13

Curva Termopar de Hierro-Constantán

CURVA	RANGO DE OPERACION
A	-200° C a -1° C
B	0° C a 79° C
C	80° C a 750° C
D	760° C a 1200° C

La curva "D" difiere de las otras en que el comportamiento de los termopares (tipo J) a temperaturas superiores a los 760 grados centígrados no es muy bueno, por lo que se recomienda que la temperatura máxima de trabajo sea de 760 grados centígrados.

Se tenía el problema de que no se sabía cual de los métodos de ajuste de curvas sería el mas conveniente y después de un estudio se vio que el método mas recomendado para el ajuste de la curva es el de Mínimos Cuadrados.

Se llegó a la decisión de emplear dicho método debido a que entre las curvas del método existía una curva de la misma forma que la de la ecuación β .

Para el ajuste por el mínimo, fué necesaria la utilización de un programa, el cual contenía 8 diferentes curvas, las cuales se muestran a continuación:

TIPO DE CURVA**FORMA**

- 1.- Lineal $y = a + bx$
- 2.- Exponencial 1..... $\ln y = \ln a + \ln b$
- 3.- Logarítmica $y = a + b \ln x$
- 4.- Geométrica $\ln y = \ln a + b \ln x$
- 5.- Parabólica $y = a + bx + cx$
- 6.- Exponencial 2 $\ln y = \ln a + x \ln b + x \ln c$
- 7.-Cúbica $y = a + bx + cx + dx$
- 8.- Exponencial 3 $\ln y = \ln a + x \ln b + x \ln c + x \ln d$

Como se puede apreciar, la ecuación numero 5 (la parabólica) es del mismo orden y tipo que la ecuación del comportamiento de los termopares.

En los listados I se muestran las corridas para las cuatro curvas **A, B, C** y **D**. Se ve en los listados cual de las ocho curvas tiene el menor error con respecto a la original, conforme estas se acerquen mas a la unidad.

Se observa una pequeña corrida usando la curva que mas se acerca a a la original. Como se puede ver en las cuatro corridas para cada una de las curvas **A, B, C** y **D**,

siempre la que mas se acercaba a la tabla original era la ecuación numero 5 y esta a su vez es exactamente de la misma forma que la ecuación β .

Ya una vez estudiado la curva que mas nos convenía, se sacó con el mismo programa las constantes **a**, **b**, y **c** para cada una de las curvas **A**, **B**, **C** y **D**.

Una vez obtenidas las constantes procedimos a correr otro programa (**listado II**), el cual consiste en alimentar una matriz $A(120, 10)$ con la tabla de los valores de la f.e.m. y posteriormente generar con nuestras ecuaciones otra matriz $B(120,10)$, finalmente se procedió a sacar un listado de la tabla generada (**tabla 5**) con el fin de compararla con la original.

III.3.- Alternativas de empaquetamiento en memoria

Como se vio en el inciso III.2, el método mas obvio para el almacenamiento de las tablas es el de alimentarlas en ROM, pudiendo así buscar el valor de tensión a una temperatura dada con la utilización de un programa.

Para alimentar la memoria ROM se podría escribir grado a grado la temperatura y posteriormente su equivalente en tensión. Este resultaría ineficiente debido a que el cálculo de espacio nos implicaría un costo de memoria tremendo.

El almacenamiento se haría en **BCD** y suponiendo que se quiera alimentar la memoria con 600 y utilizando 2 bytes por grado se necesitarían 1200 bytes, por otro lado el valor

de la tensión se tendría que alimentar al igual en otros 2 bytes. Lo anterior nos lleva a que el solo almacenamiento de estos datos se necesitaría una memoria de 2.4KB.

En el caso anterior el programa debería de funcionar de la siguiente manera:

Primeramente, se compara el valor que se tiene a la salida del **CAD** con los datos en tabla. Esto se tendría que hacer con incrementos en **HL** de dos debido a que primeramente se tiene el valor de la temperatura y luego el de tensión.

Una vez que se encuentra el valor correspondiente al de la entrada, se hace un decremento en **HL** para leer el valor de temperatura, el cual posteriormente se desplegaría en los visualizadores ("displays"). Este método es factible pero además de laborioso resultaría muy lento.

La otra forma es el empaquetamiento de la tabla en memoria, la temperatura sería conocida de acuerdo con el posicionamiento del valor de tensión en la memoria.

Con una tabla de memoria duplicada se partiría cada dato de tensión en dos bytes y así alimentar la memoria con el byte mas significativo a partir de una localidad de memoria fácil de manejar (localidad "A") y empezando con el valor de tensión para cero grados centígrados, una vez alimentados estos se procedería a alimentar en la segunda parte el byte menos significativo.

Para ilustrar mejor lo anterior plantearemos el siguiente ejemplo:

Vamos a suponer lo siguiente: Vamos a almacenar el byte más significativo (valor en tensión) en la localidad de memoria 4000 y éste va a ser el equivalente a cero grados, a su vez el menos significativo se almacenará en la localidad de memoria 8000, de esta manera si se localiza el primer byte a la localidad de memoria se le sumaría una constante que nos lleve a su complemento en la segunda parte de la tabla.

La constante si estuviéramos trabajando en **BCD** sería 4000 pero la localidad de memoria esta en hexadecimal.

De esta forma nos ahorramos el manejo del punto decimal y comparándolo con el anterior nos trae un beneficio de 1.2KB.

Al utilizar este método nos ahorramos 1.2KB de memoria sin importar que exista un desperdicio inminente de memoria ya que en hexadecimal podemos direccionar 1600 puntos y en este caso solo se van a utilizar 1200, por lo que se tendría un desperdicio de 400.

El programa funcionaría localizando el equivalente al byte mas significativo que existe a la salida del **CAD**; posteriormente, se le suma una constante para localizar el complemento, comparándolo con el byte menos significativo de la salida del **CAD**.

Una vez localizado el complemento, es decir, que lo que existe a la salida del **CAD** es igual al resultado de hacer la rutina en tablas, se le restara al par de registros "**HL**" una constante que nos lleve al valor de la temperatura.

En lugar de empezar a hacer comparaciones del primer byte a los cero grados, se podría uno ahorrar tiempo si se empezara a hacer la comparación a la mitad de la tabla de tal forma que si el número es mayor se elimine la primera parte o viceversa y hacer así sucesivamente comparaciones hasta dar con el número buscado.

Por otro lado para ahorrar memoria se podría buscar una regla para ver la posibilidad de no repetir el primer byte ya que como se ve en la tabla el primer byte se repite varias veces y este a su vez va teniendo incrementos de uno.

El ahorrarnos tiempo y memoria no merece la pena debido a la simplicidad de operaciones y tipo de proceso a medirse, el cual no va a variar con rapidez; si así lo hiciéramos podríamos tener problemas de exactitud.

III.4.- Conclusiones

Ya una vez analizado el método del ajuste de la curva por medio de un modelado matemático y estudiada la factibilidad de almacenar todos los datos de las tablas en memoria, se concluye que hoy en día el método más obvio para solucionar el problema planteado es el de almacenar la tabla en memoria.

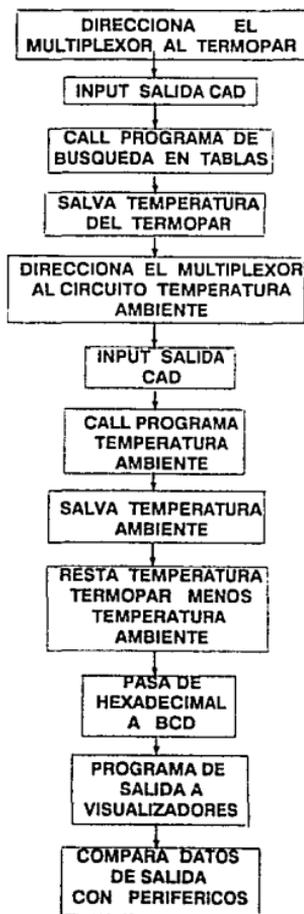
Por otro lado una de las ventajas de modelar matemáticamente la curva sería incorporar en un solo termómetro los datos de diferentes termopares (constantes "A", "B" y "C"), con lo que se podría conmutar de uno a otro sin modificar el diseño del termómetro.

Al principio de la realización de esta tesis se excluía totalmente la posibilidad de la utilización de la memoria. Esto es debido a que en ese entonces (1985) el costo de 1KB de memoria era sumamente alto y hacia prohibitiva la posibilidad de que nuestro producto fuera manufacturable o mejor dicho comerciable.

Con el paso del tiempo y el avance de la tecnología se empezaron a fabricar circuitos integrados de 1MB, 4MB, etc. Hoy en día el costo de 1MB de memoria es relativamente barato, especialmente si se compara con lo que valían 8KB de memoria.

Es importante mencionar el avance de la tecnología con respecto al tiempo; lo que ahora es innovación mañana será obsoleto.

III.5.- Diagrama a Bloques del procedimiento de programa



III.6.- Diseño General a bloques del circuito

El termómetro que deseamos tendrá el aspecto general de la **figura 14**.

El circuito tendrá dos entradas analógicas una proveniente del termopar y la otra del circuito de temperatura ambiente, las dos señales son controladas por un multiplexor con el objeto de evitar un segundo convertidor.

A la salida del multiplexor tendremos un convertidor analógico digital de tal forma que se cambie la señal analógica que producen nuestros sensores por una digital y que esta pueda ser trabajada por el microprocesador, esta señal será recibida por un puerto de entrada como interfase.

El puerto de entrada va a recibir señales del convertidor y señales de control como pueden ser selectores de límites de temperaturas o comandos de visualización. Los selectores pueden ser "tomb weal" y sistemas para alarmas, los visualizadores nos podrán servir para poder tener alternativas de pedir al termómetro la temperatura ambiente en el caso de necesitarla; de esta manera se aumentarían las características del termómetro haciéndolo más comerciable, lo cual no complicaría la operación debido a que este dato se tiene.

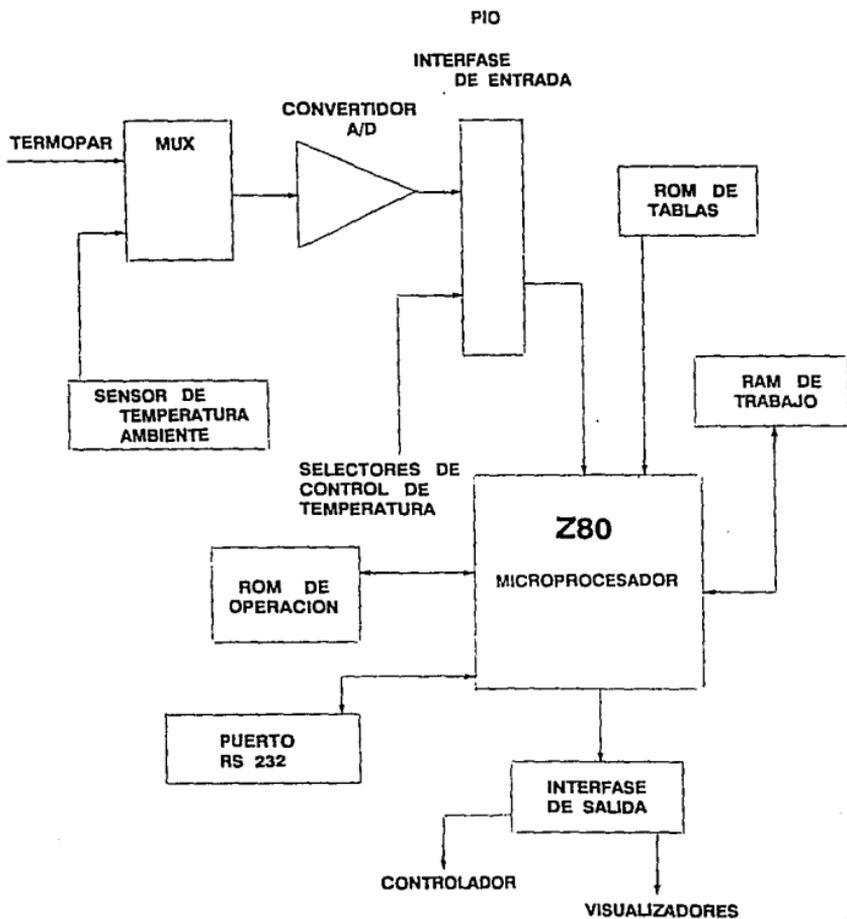


Figura 14

Diseño General a Bloques

Una vez tenida la información en el microprocesador se va a trabajar con dos memorias la RAM y ROM. La primera es la memoria de trabajo y la segunda se va a subdividir en ROM de operación y ROM de tablas.

La **ROM** de operación va ser aquella con la que se va a trabajar el programa y la **ROM** de tablas va a depender de la familia del termopar con el cual se quiera trabajar.

El microprocesador podrá contar con dos puertos de salida. El primero sería un RS232 el cual nos serviría como una posibilidad de automatización con conexión a una PC o monitorear varias partes del proceso. El otro puerto sería una interfase para la salida de visualizadores externos para leer la temperatura del objeto a medir y con la posibilidad también de poner controladores.

III.7.- Resumen a bloques

1.- Termopar

En el capítulo de termopares hablamos de las leyes empíricas de los termopares así como de las características que tenían cada uno de ellos.

Por los rangos en los cuales se trabaja y su facilidad de ser encontrado en el mercado (hoy en día es el más popular y barato) se decidió que se usaría un termopar de fierro-constantán.

2.- Compensación de la soldadura fría.

Ya hemos hablado que se necesita compensar la temperatura en la unión de soldadura fría en el termopar. (ver compensación de la soldadura fría).

Existen muchas maneras de compensarla, entre las que se destacan, temperaturas de referencia ya conocidas (ver tabla VI) y circuitos externos que por medio de "hardware" la compensan.

Después de un análisis se decidió que nuestro termómetro debe de ser versátil, que la mejor manera de compensar la unión fría es por medio de un circuito externo. El circuito que se escogió fue un transductor; el sensor de éste, está encapsulado en un circuito integrado; del cual hablaremos posteriormente más a detalle.

3.- Discusión analógico digital

La automatización es una necesidad de toda industria hoy en día, esto nos lleva a la eliminación de hacer el termómetro analógico.

Cuando hablamos de automatización y de versatilidad nos viene a la memoria la necesidad de la utilización de un microprocesador como cabeza central del termómetro. Con este podemos a nuestra conveniencia: compensar, manejar datos, etc.,

El termopar es un componente analógico y la salida del compensador también lo es, por lo cual, al tratar de automatizar nuestro termómetro tendremos primeramente la necesidad de convertir esas y otras señales en digitales.

Con lo anterior se ve que el termómetro y el diseño que se va a hacer va a ser básicamente digital.

4.- Etapas de entrada

Básicamente son dos las etapas de entrada que se van a tener en el microprocesador las cuales son:

a) convertidor analogico/digital.

b) multiplexor.

El primero es necesario ya que el microprocesador trabaja con señales digitales y la salida de nuestros sensores es analógica, al igual que cualquier otro tipo de dispositivos que se le quieran aumentar.

Otros dispositivos pueden ser límites de temperatura ("tomb weal") u otros sensores.

Es muy importante que el convertidor no emita errores en las lecturas (temperaturas de referencia y ambiente), por lo que se va a concentrar en la exactitud de uno solo; por eso lo utilización de un multiplexor.

5.- Manejo de Información.

Una vez que se decidió la utilización de un microprocesador se nos presenta un problema, al pensar, lo que se va a hacer con los datos o información a la entrada del mismo.

Primeramente se tiene que analizar el tipo de información que se tiene y de donde procede, esto se debe a que para calcular la temperatura, se van a tener dos datos, uno proveniente del termopar y el otro del sensor de temperatura ambiente.

Como se sabe, en el termopar al variar la temperatura se produce una diferencia de potencial a la salida de éste (unión fría).

Cuando se empezó a elaborar esta tesis se tenía un dilema el cual consistía en lo siguiente: Por un lado en el estudio de transductores, se encontró que existen tablas de la f.e.m. generada por cada tipo de termopar, las cuales consistían en lecturas hechas grado a grado y posteriormente tabuladas. Por otro lado se estudio también que la tensión en la soldadura fría variaba casi proporcionalmente a el incremento de temperatura dando una forma de curva casi lineal.

Cada tipo de termopar tiene una ecuación característica de su comportamiento, en nuestro caso la ecuación es:

$$f.e.m = a + bT + cT^2 \dots \beta$$

donde **a, b y c** son constantes que dependen de cada termopar.

El anterior dilema nos llevaba a escoger entre alimentar en memoria todos y cada uno de los datos de la tabla o que se genere el dato (temperatura) que estábamos buscando por medio de la ecuación.

Como la aplicación era industrial y el poco deseo de nuestra parte de incrementar el costo del termómetro (no se querían utilizar demasiada memoria), nos fuimos por el lado de generar el dato deseado por medio de la ecuación.

Se empezó buscando las tres constantes ideales para ser utilizadas en la ecuación. Con la ayuda de varios métodos matemáticos y también con el uso de las tablas se encontraron estas, las cuales podemos decir, que se comportaban casi de igual manera.

Cabe decir, que en la ecuación, el dato que se buscaba era la temperatura (**T**), ya que la fuerza electromotriz es un dato conocido y las constantes ya se tenían.

Una vez que se hizo la prueba matemática y que se generó por medio de una computadora una nueva tabla y se comparó ésta con la original se vio que el error

máximo que se tenía al generar la tabla era de no más de un grado centígrado, lo cual era aceptable.

Una vez hecho lo anterior se empezó a pensar en todas las subrutinas que necesitaríamos para resolver el dato buscado en el microprocesador, ya que como se ve en la ecuación β esta es de segundo grado por lo que se necesitan las siguientes subrutinas:

a) Bcd a binario

b) Multiplicación

c) División

d) Raíz cuadrada

Estas subrutinas nos tomaron mucho tiempo en su realización ya que como se sabe el microprocesador solo es capaz de efectuar sumas y restas y por medio de estas se tienen que realizar (algunas se anexan en los apéndices).

Se desarrollaron algunas de ellas y otras fueron estudiadas, durante este tiempo surge un cambio como suele suceder en la electrónica: el precio de la memoria baja considerablemente. Esto genero que el enfoque que se tenía girara 180 grados.

Este cambio de rumbo se debía a dos cosas: la primera era que el espacio de memoria a usarse no iba a ser muy diferente al de generar la curva o alimentar la tabla; esto por un lado, pero por el otro y aun mas importante se vio que al manejar todos los datos en subrutinas y al ser enlazados se iba perdiendo información y esto nos llevaba a tener un error considerable a la salida.

Todo el análisis anterior se descarto y tomamos la otra posibilidad, la cual fue el de alimentar los datos en memoria.

Otra información con la cual se tiene que trabajar es la de la salida del circuito detector de temperatura ambiente, esta varia en tensión grado a grado de forma lineal.

Como la variación de este circuito es lineal se decidió trabajarla dentro del microprocesador en una pequeña tabla, la cual es muy fácil de manejar debido a que la variación de temperatura ambiente no es muy grande.

Como se vio en el capítulo de termopares y de compensación las dos informaciones anteriores se deben restar para obtener la temperatura real a medir, como se muestra a continuación:

$$T = t_1 - t_2$$

donde,

T = temperatura real

t1 = temperatura del termopar

t2 = temperatura ambiente

Son dos las posibilidades que se tienen para dicha resta, una es por medio de un circuito anterior al convertidor y que llegara a el convertidor ya el dato real o efectuar la operación de resta por medio del microprocesador, esta segunda fue por la que se optó.

6.- Etapas de salida

La salida de nuestro termómetro va ser leída por medio de visualizadores ya que estos son estéticos y facilitan la lectura evitando errores donde dispositivos analógicos podrían caer.

También se debe de contar con interruptores de programación para así poder alimentar rangos de operación, alarmas, etc.

7.- Posibles mejoras

Todo instrumento o equipo electrónico esta sujeto a mejoras o innovaciones dependiendo del costo que se le quiera invertir o de lo complejo que lo requiera la industria.

Este termómetro tentativamente puede tener muchas mejoras dependiendo de la aplicación a la que se le quiera someter. De las mejoras posibles citaremos algunas.

Una mejora sin duda puede ser la implantación de varios termopares, teniendo así la facilidad de monitorear varios puntos del proceso, esta mejora es relativamente sencilla, por no necesitarse de un compensador de temperatura ambiente y en cuanto al microprocesador no existe mayor problema ya que tenemos tiempo suficiente y de sobra para poder hacer dicho monitoreo.

Otras mejoras sin duda, podrían ser: un auto-ajuste al principio de la operación y por que no, un diagnóstico para revisar que todos los periféricos estén en orden.

III.8.- Consideraciones importantes del diseño.

Son varios los factores que se deben de tomar en cuenta para la realización del diseño del termómetro, los cuales son: precisión, volumen de memoria necesaria y número de chips de periféricos.

La precisión la vamos a escoger por medio de la elección del convertidor A/D y el circuito de temperatura de referencia.

La memoria en su volúmen va a ser proporcional a el tamaño de la tabla con la que se va a trabajar. Se van a escoger los limites inferior y superior con los que el termómetro va a funcionar y dependiendo de estos la tabla se reducirá o se aumentará.

El número de chips periféricos también se deben de estudiar para determinar la configuración que va a tener el circuito, esto es, que tipos de ROM, RAM, PIOS, visualizadores, etc.

CAPITULO IV

CONSTRUCCION

En este capítulo pretendemos analizar y estudiar algunas alternativas interesantes y a su vez definir el diseño del termómetro. Una vez ya vista el diseño general planteado a grandes rasgos, el diseño del circuito a bloques (ver III.6) y fijadas las condiciones principales; se podría pasar al diseño de detalle. (ver conclusiones)

IV.1.- Convertidor Analógico Digital

Las señales eléctricas utilizables, de la mayoría de los transductores son analógicas por naturaleza, y si dichas señales se quieren procesar con equipo digital, es necesario convertir la información original a digital. De aquí se puede ver la importancia de los convertidores A/D para cualquier diseño que utilice sistemas digitales.

En esta tesis se pone una atención especial en este dispositivo ya que es de vital importancia para los resultados de la misma, esto es debido a que la exactitud de nuestro termómetro va a depender de la elección del convertidor.

Un convertidor analógico digital o **CAD**, es un dispositivo que recibe una señal analógica "A", y la convierte en una señal digital "N" con una cierta exactitud y resolución, por comparación con una tensión de referencia "**Vref.**" Idealmente la señal "N" va a ser la relación de:

$$N = A / V_{ref}$$

La conversión es usualmente hecha por medio de decrementos en potencias de dos con el fin de expresar el resultado directamente en un número binario. En sí, ya que el mensaje transmitido tiene una longitud infinita, "N" puede ser considerada como una aproximación muy cercana al resultado tomando en cuenta la resolución del sistema.

Las señales analógicas provenientes de los transductores más comúnmente empleados son tensión y corriente, los cuales son fácilmente convertibles a tiempo o frecuencia, o bien pueden compararse con fuentes de referencia.

IV.1.2.- Tipos de Convertidores A/D

1.- Convertidores de rampa sencilla

Este es uno de los más simples y comunes ya que requiere pocos componentes. Se llama también convertidor de modulación de ancho de pulsos, debido a que se produce un pulso cuyo ancho es proporcional al valor de la tensión de entrada.

2.- Convertidor contador de rampa

Trabaja similar al convertidor de rampa sencilla, debido a que una tensión es generada y ésta se incrementa en escalones y de aquí que se compare con una rampa ya que tiene la forma de una escalera. La ventaja de este sistema es que el tiempo ya no se considera como una variable. En sí la variable de interés es el valor que alcanza por

medio de este cambio de tensiones durante un periodo de reloj, pero no el instante exacto de tiempo en que es alcanzado. El tiempo de conversión de este **CAD** es relativamente largo, pues necesitamos contar de 2 pulsos para cada conversión. De todas maneras es necesario tener un periodo de espera para que el **CAD** se estabilice.

3.- Convertidores de tensión a frecuencia

Este convertidor es un oscilador controlado cuya señal de salida tiene una frecuencia proporcional a la tensión de entrada. Si se mide la frecuencia de la señal por un contador entonces se obtiene una indicación digital de la señal de entrada.

4.- Convertidores por conmutación de cargas capacitivas

El principio de este convertidor como su nombre lo indica es el de transferencia de cargas entre dos capacitores. Este tipo de conversión requiere un periodo por bit y el primer bit es el que da el signo. Por lo tanto es un convertidor repetitivo. El comportamiento de dichos sistemas depende de:

- a) El tiempo que se requiere para efectuar la transferencia de cargas.
- b) Los errores de ganancia y offset del amplificador y del comparador.
- c) Los valores de los capacitores y su conmutación.

De forma que se puedan minimizar estos efectos es necesario operar a velocidades bajas usando capacitores elevados. Para un máximo de frecuencias de conversión, de cerca de, 20 KHz. una exactitud de 10^{-3} se puede llegar a obtener.

5.- Convertidor de Aproximaciones sucesivas

Es una de los más usados por su comportamiento y su bajo costo. Es también llamado el convertidor de peso ya que su principio de operación se basa en un proceso de peso por aproximaciones sucesivas usando un conjunto de pesos. Cuando se va a pesar cierto peso y éste es menor que 1 Kg, este se compara primero con uno de 500 gr.; si este es más pesado entonces se le aumentan 200 gr. y si es menor a 500 g. se le quitaran 200 g. y así sucesivamente hasta tener la exactitud requerida.

El convertidor de aproximaciones sucesivas trabaja de manera similar. En si es cuestión de determinar, uno tras otro, los valores de cada uno de los bits que forman la palabra binaria.

6.- Convertidores de doble Integración o doble rampa

Es posible incrementar apreciablemente la exactitud por medio de una doble integración. De esta forma se obtiene un mejor rechazo de señales parásitas, en particular de aquellas que se obtienen de las principales fuentes.

Para hablar más a fondo sobre este tipo de convertidor se describirá el convertidor ICL7109 en la sección de elección del convertidor.

IV.1.3.- Costo

El costo de un CAD varia de uno a otro dependiendo de lo siguiente:

- 1.- Rapidez.
- 2.- Exactitud
- 3.- Tipo de convertidor

La **figura 15** nos muestra en tres dimensiones la rapidez, exactitud y costo de los diferentes tipos de convertidores.

IV.1.4.- Elección del Convertidor

Existen tres parámetros fundamentales para la elección del

CAD los cuales son:

-velocidad

-exactitud

-costo

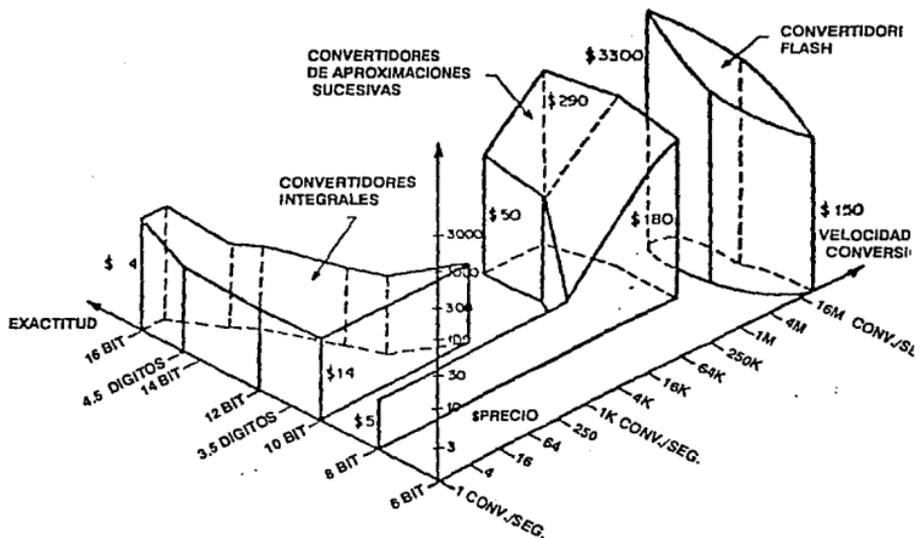


Figura 15

Precio /Rendimiento de los Convertidores A/D

Conviene aclarar el significado de cada uno de estos parámetros y para ello usaremos unos ejemplos.

La velocidad se refiere obviamente al número de conversiones por segundo. Sería un parámetro decisivo para elegir el CAD adecuado si queremos medir señales de 1MHz o si queremos registrar explosiones o instrumentar un reactor nuclear.

Obviamente el costo tendrá que ser un parámetro de menor repercusión en estos casos.

Por el contrario si queremos medir temperaturas, como por ejemplo, en un horno de fabricación de semiconductores, la exactitud probablemente será vital, mientras que la velocidad en este caso es poco importante. Para aplicaciones de este estilo un CAD de doble rampa podría seguramente dar la exactitud necesaria a bajo costo.

Otras aplicaciones podrían requerir convertidores rápidos y de exactitud media, o convertidores muy baratos de exactitud elevada. Un CAD de aproximaciones sucesivas podría por ejemplo cubrir el primer requisito, y de hecho se usan en conversiones A/D para señales de audio. Los tipos más populares de CAD son en definitiva los de integración y el mencionado de aproximaciones sucesivas.

IV.1.4.1.- Planteamiento del Problema

En nuestro caso se trata de medir temperaturas. Por consiguiente queremos un CAD lento, pero exacto; la exactitud, en este caso, se refiere no solo al número de bits (precisión), sino también a la repetitividad y a la linealidad del CAD. No nos serviría un CAD que tuviese problemas de deriva térmica o que presentara errores esporádicos en las conversiones.

IV.1.4.2.- Precisión

El intervalo de temperaturas que se debe cubrir es de -70°C a 760°C . Se piensa usar un termopar tipo J (Fe-Constantan), que podría servir en un intervalo mayor, pero que pierde toda precisión fuera del mencionado intervalo de -70°C a $+760^{\circ}\text{C}$.

El intervalo a medir es pues de:

$$(760^{\circ}\text{C}) - (-70^{\circ}\text{C}) = 830^{\circ}\text{C} = T$$

En ese intervalo la f.e.m. generada por el termopar va de -3.424 mV a $+42.922\text{ mV}$ (ver tablas). Quiere eso decir que el intervalo de tensiones de entrada es de:

$$42.922 - (-3.424) = 46.922\text{ mV} = V$$

El error máximo que se puede tener es del orden de 1°C , lo que corresponde en las

tablas (nótese que no es una relación lineal) a una diferencia de aproximadamente 50 V en el caso peor. Por lo tanto, podríamos dividir, sin merma de precisión, nuestro intervalo en:

$$46922 \text{ V} / 50 \text{ V} = 940 \text{ puntos}$$

Ese número de puntos corresponde a 2 lo que nos permitirá usar un CAD de 10 bits, con una precisión de 1024 puntos.

El problema es que nuestro intervalo de tensiones no es simétrico. Si lo fuera, con un CAD de 9 bits (y signo) podríamos resolver el problema, pero no siendo así, se necesita elegir una de las dos alternativas siguientes:

- a) Desplazar la excursión de entrada mediante resta de un valor polarización fijo para centrar la lectura en torno a cero.
- b) Tomar un CAD de más bits .

La primera alternativa se presta a un sin fin de problemas: derivas térmicas, y de "offset" de todo tipo, ruido, etc.

La segunda, en cambio, no parece presentar problemas, ya que existen convertidores de 10 bits, que nos darían:

$$42.922 \text{ mV} / 1024 = 41.92 \text{ V/punto}$$

Con esto tendríamos garantizado un error inferior a 1° C. El único pero es que desperdiciamos una buena parte de la zona negativa en la que podríamos operar el convertidor.

Resumiendo, necesitamos un convertidor de 10 bits más signo, que pueda operar con señales de entrada de ± 50 mV.

La exactitud del CAD nos vendrá dada por las características de su tensión de referencia, que a tener de lo expuesto, deberá tener una precisión mejor de $41.9 \mu\text{V}$, a menos de que usemos un amplificador previo para convertir la señal de entrada de ± 50 mV en otras tensión mayor (por ej. $\pm 5\text{V}$).

IV.1.4.3.- Velocidad

En cuanto a velocidad se refiere no se necesita un dispositivo que mida la temperatura con gran rapidez ya que ésta no aumenta tan rápido; necesitamos leer dos temperaturas las cuales son: la temperatura a la que ésta el termopar y la temperatura ambiente. Por lo tanto la rapidez que se necesita es el tiempo que toma leer la temperatura del termopar y luego leer la temperatura ambiente.

Por tanto, admitiendo que se necesita actualizar la temperatura (del termopar) cada segundo, nos basta con un convertidor que tarde $1/2$ segundo en cada conversión.

IV.1.4.4.- Costo

El costo de nuestro CAD no va a influir mucho en la decisión de elección debido a que se tienen otros componentes más caros. Es obvio que para todo diseño este se debe de tomar en cuenta. En el capítulo de Convertidores A/D se puede ver la gráfica de costos de diferentes tipos de convertidores.

IV.1.4.5.- Elección del CAD

Debido a que el convertidor de 10 bits es más o menos igual en costo al de 12 bits, se va a utilizar el convertidor de 12 bits con el que tendremos:

$$42922 \text{ V} / 4096 = 10.5 \text{ V/punto}$$

Este error es muy inferior a 1º C. (Véase el apartado I.1).

Si aplicamos directamente la señal a la entrada del CAD, tendremos excursiones de +/- 50 mV, lo cual nos obliga a utilizar una Vref de 25 mV, que es extremadamente difícil de obtener. Nuestro límite inferior de precisión en cualquier parte del circuito será siempre del orden de 1 mV.

Esta tensión la podría generar un offset o una deriva térmica. No nos interesa por tanto quedarnos en esa zona de mV. Es preferible amplificar la señal de entrada a +/-5 V

con un buen amplificador operacional (un solo componente delicado) y trabajar con una V_{ref} de 2.5V que siempre será más estable que la de 2.5 mV.

Por consiguiente buscaremos un convertidor standard (+/-5V de entrada analógica), de velocidad baja de conversión, de 12 bits, con polaridad.

La salida deberá ser capaz de atacar directamente a un microprocesador, con salida BCD. De entre los disponibles en el mercado hemos elegido los que se indican en la **tabla VII**, y de ellos tomamos finalmente el ICL 7109.

El cual cumple con las características antes citadas como se ve a continuación:

- Señal analógica de entrada = $V+$ a $V-$ (se alimenta de +6.2 a -9V max).
- 7.5 conversiones por segundo.
- 12 bits (más polaridad y overrange).
- Fácil interfase con micros ya sea serie o paralelo.

IV.1.5.- Convertidor ICL7109

Descripción detallada

A) Sección Analógica

La **figura 16** nos muestra el circuito equivalente de la sección analógica del ICL7109. Cuando la entrada de RUN/HOLD se deja abierta o conectada a V+, el circuito ejecutará conversiones a una velocidad que será determinada por la frecuencia del reloj (8192 periodos de reloj por ciclo). Cada ciclo de medición es dividido en tres fases como se muestra en la **figura 17**. Estas son (1) Auto-cero (AZ), (2) Señal integrada (INT) y (3) Desintegración (DE).

1.- Fase de Auto-Cero

Durante esta fase suceden tres cosas. Primeramente, la entrada alta y baja son desconectadas de sus terminales e internamente se cortocircuitan a una masa analógica común. Segundo, el capacitor de referencia es cargado a la tensión de referencia. Tercero, se retroalimenta al "buffer" del amplificador, al integrador, y al comparador. Ya que el comparador está incluido en el bucle, la exactitud del AZ está limitada solamente por ruido del sistema. En cualquier caso, el offset referido a las entradas es menor a 10 V.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

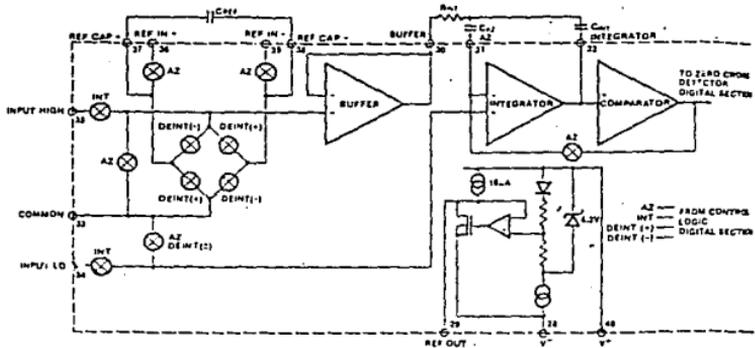


Figura 16

Sección Analógica del ICL7109

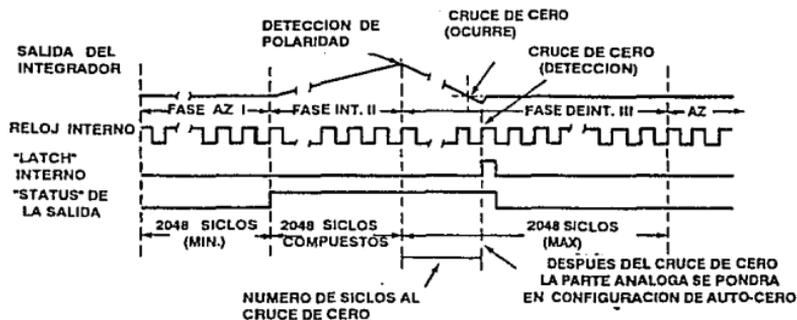


Figura 17

Fases del Ciclo de Medición

2.- Fase Integración.

Durante esta fase y cuando el bucle de auto-cero esta abierto, el corto interno se quita y las entradas internas alta y baja se conectan a patitas externas. El convertidor integra la diferencia entre IN HI y IN LO por un tiempo compuesto de 2048 periodos de reloj.

3.- Fase De- Integración

La fase final es la de doble integración, o integración de referencia. La entrada baja es internamente conectada a la masa analógica común y la entrada alta se conecta a través del capacitor de referencia previamente cargado en la fase de auto-cero.

B) Entrada Diferencial

La entrada puede aceptar tensiones diferenciales dentro del modo común de la entrada del amplificador. De todas maneras ya que el integrador también se impulsa con el modo común de tensión, se debe de tener cuidado para asegurar que la salida del integrador no se sature.

El ICL7109 se ha optimizado para operar con masas analógicas y digitales muy cercanas. Con fuentes de poder de +5V y -5V, esto permite una integración a toda escala de 4V cambiando de positivo a negativo maximizando así el comportamiento de la parte analógica.

1.- Referencias diferenciales

La tensión de referencia puede ser generado en cualquier lugar a partir de la tensión de alimentación del convertidor. La fuente principal del error de modo común es la tensión de "roll-over", que generada por la variación de cargas que experimenta el capacitor de referencia al interferir con el las capacidades parásitas de sus nodos.

Este error se puede minimizar teniendo el voltaje común de referencia cerca o en la parte común analógica.

C) Selección de Componentes

Para un comportamiento óptimo de la sección analógica, se debe de tomar mucho cuidado en la selección de los componentes como son: el capacitor y la resistencia de integración, el capacitor de auto-cero, voltaje de referencia, y el rango de conversión. La consideración más importante es que el balance de la salida del integrador sea lo más grande posible.

1.- Resistencia de Integración

Esta debe ser lo suficientemente grande para mantenerse en su parte lineal sobre el rango de tensión de entrada, pero lo suficientemente pequeña que evite pérdidas en el circuito impreso. Rint se debe de escoger por medio de la relación:

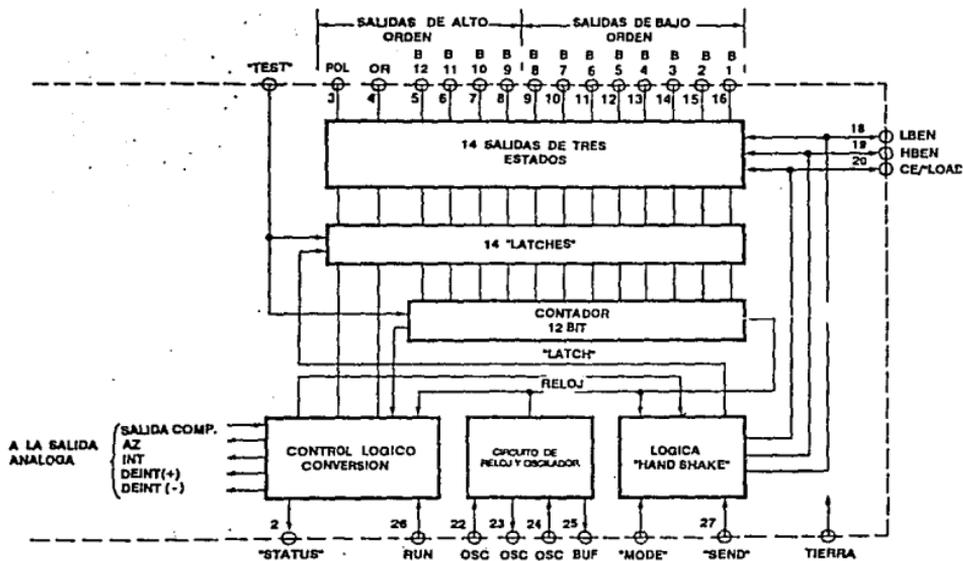


Figura 18

Sección Digital ICL7109

2.- Capacitor de integración

El capacitor de integración debe de ser escogido para dar un máximo balance en la tensión de salida, sin que se sature el integrador. El valor por C_{int} es dado por:

3.- Capacitor de auto-cero

El tamaño del capacitor de auto-cero tiene influencia en el ruido del sistema; un capacitor grande, tiene menor ruido. De todas maneras este no se puede incrementar sin límites, ya que, este en paralelo con el capacitor de entrada forman una constante de tiempo $R-C$ que determina la velocidad de recuperación de sobrecargas y más importante aun el error que existe al final del ciclo de auto-cero.

4.- Capacitor de referencia

Un capacitor de 1F da un buen resultado en la mayoría de as aplicaciones.

5.- Voltaje de referencia

La señal analógica que se requiere para generar una salida a toda escala de 4096 pasos es: $V_{in} = 2V_{ref}$. De todas maneras, cuando el convertidor **A/D** esta midiendo la salida de un transductor, deberá existir un factor de escala diferente a la unidad entre la tensión absoluta de salida que se va a medir y la salida digital deseada.

6.- Referencias de origen

La estabilidad de la tensión de referencia es de mayor importancia en la exactitud absoluta global del convertidor. Por esta razón es recomendado que la referencia externa deba de ser de alta calidad especialmente donde la temperatura ambiente no este controlada o donde mediciones de alta exactitud se estén llevando a cabo.

D) Sección Digital

La sección digital incluye el reloj oscilador, circuito de ajuste, contador binario de 12 bits con salida enclavada y compatible TTL, con salida de tres estados direccionada, polaridad, sobre rango y control lógico, y lógica para comunicación con los UART. (Figura 18).

1.- Estado de la salida

Esta señal debe ser usada para manejar interrupciones o para monitorear el estado del convertidor.

2.- Entrada de "RUN/HOLD"

Esta característica se puede utilizar para eliminar el tiempo que se toma en la desintegración después del cruzar por cero, también sirve para una fácil conversión cuando existe una demanda. Alternativamente, RUN/HOLD se puede usar para minimizar el tiempo de conversión por medio de asegurar que durante la desintegración

este en "low", después de que cruza el cero, y se pone en "high" cuando el punto de espera es alcanzado.

3.- Modo Directo

Esto permite técnicas para acceder una variedad de datos paralelos.

4.-Modo de Comunicación

Esta salida tiene por objeto el interfase del convertidor con sistemas digitales, donde el convertidor **A/D** se convierte activo en el control del flujo de datos en lugar de responder al "chip and byte enable inputs".

5.- Oscilador

El convertidor cuenta con un oscilador de tres terminales el cual genera el reloj interno. El sistema puede ser sobremanejado, o manejado como un **RC** o un oscilador de cristal. La entrada de el **SELECTOR DEL OSCILADOR** cambia su configuración interna del oscilador para optimizarla para **RC** o la operación del cristal.

6.- Entrada de prueba

Cuando la entrada de prueba es llevada a un nivel entre **V+** y tierra, la salida enclavada del contador se activa, permitiendo examinar el contenido del contador cuando uno quiera.

IV.2.- Microprocesador

Como hemos venido hablando en capítulos anteriores la elección del microprocesador va a depender de muchos factores; el diseño de nuestro termómetro debe de estar horientado a las necesidades industriales, sin evitar, el considerar que todos los componentes se deben de conseguir localmente.

Entre los parámetros mas importantes a considerar para elegir un microprocesador se encuentran los siguientes:

- 1.- Buena precisión
- 2.- Facilidad en el direccionamiento
- 3.- Velocidad
- 4.- Confiable
- 5.- Versátil
- 6.- Estabilidad a cambios en la temperatura.

Al considerar los factores anteriores y analizando nuestras necesidades se elige el **Z80**. Es de importancia el mencionar que el **Z80** tiene ya bastante tiempo en el mercado y su campo de aplicación dentro de la industria es muy grande.

Para programar de forma elemental el Z80, no es necesario el tener un conocimiento a detalle de la estructura interna del procesador; sin embargo, para programarlo de forma eficiente se recomienda estudiarlo a fondo.

IV.2.1.- Arquitectura del Sistema

La arquitectura del Z80 aparece en la figura 19.

A la izquierda de la figura se observa la unidad del microprocesador. Las funciones de la unidad central de proceso (CPU), la cual incluye: La unidad lógica aritmética (ALU), registros internos y a cargo de la secuencia del sistema la unidad de control (CU), se encuentran englobadas en un solo circuito integrado.

Tres buses son los que están contenidos en la unidad del microprocesador: en la parte alta de la figura se encuentra el bus de datos, este es bidireccional de 8 bits, el segundo es unidireccional de 16 bits llamado bus de direccionamiento y por último el bus de control.

El bus de datos es el encargado de mandar la información que es intercambiada entre los diversos elementos del sistema, generalmente es el encargado de enviar información del microprocesador a la memoria o viceversa, y también del microprocesador a un dispositivo I/O.

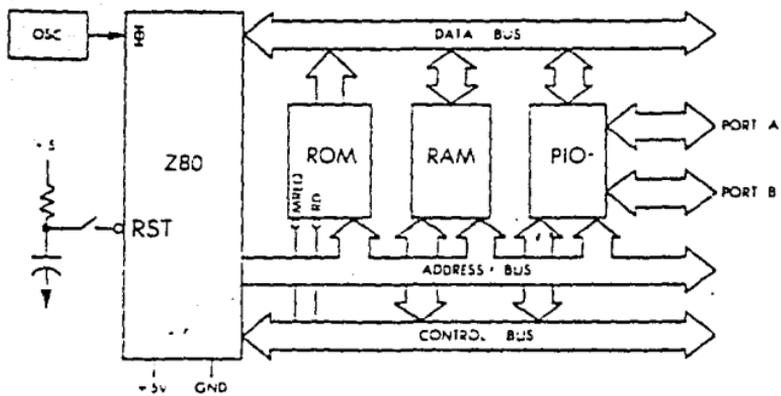


Figura 19

Arquitectura del Z80

Las direcciones generadas por el microprocesador son mandadas por el bus de direccionamiento, el cual selecciona en uno de los circuitos conectados al sistema un registro interno. Las direcciones especifican el origen, o el destino de la información que transita por el bus de datos.

Todas las señales de sincronización requeridas por el sistema son enviadas por el bus de control.

En adición a los buses para lograr un sistema completo se requiere de una referencia precisa de tiempo , esta es generada por un reloj o un cristal. En microprocesadores viejos la oscilación del reloj se generaba de forma externa, en cambio en los mas recientes se genera dentro de este, quedando siempre el cristal de forma externa. A la izquierda de la **figura 19** se pueden apreciar ambos.

El resto de los elementos son: la memoria ROM ("Read Only Memory"), RAM ("Random-Access Memory") y los PIO ("Parallel Input/Output").

La memoria ROM contiene la información del programa, una de sus ventajas es que cuando el sistema se apaga no desaparece la información contenida. Cuando se requiere que un programa quede gravado y protegido contra fallas de tensión se recomienda tenerlo en ROM. El uso de RAM se recomienda cuando se trata de hacer programas y tenerlos que modificar continuamente, quedando la información gravada de forma volátil y perdiéndola cuando el sistema es apagado.

Por medio de dos puertos o mas (8 bits cada uno) se maneja la informacion que entra y sale del microprocesador hacia los buses y estos a su vez son conectados a los PIO.

Cuando veamos el capítulo donde se muestre el programa a utilizar en nuestro termómetro, se vera la utilización de varias instrucciones, para poder entenderlas y analizar la lógica empleada, se recomienda el conocimiento de la organización interna del Z80. No entraremos en detalle, y no hablaremos sobre la ejecución y significado de las instrucciones, mas sin embargo, se anexara en el capítulo de programación una tabla con todas las instrucciones de programación. Para el lector interesado en profundizar y conocer mas a detalle el funcionamiento y la descripción de cada instrucción citaremos el libro "programming the Z80" de Zaks.

IV.2.2.- Organización Interna del Z80

La **figura 20** nos muestra la descripción lógica del dispositivo. Empezaremos por describirla de derecha a izquierda. En la parte derecha podemos reconocer la Unidad Lógica Matemática (ALU) por su forma característica en "V".

El Registro del acumulador "A" se identifica en la parte derecha del ALU y este a su vez es conectado a un registro denominado "buffer" o "AT" (acumulador temporal). La parte izquierda del ALU también esta equipada con un "buffer", a este se le llama TMP.

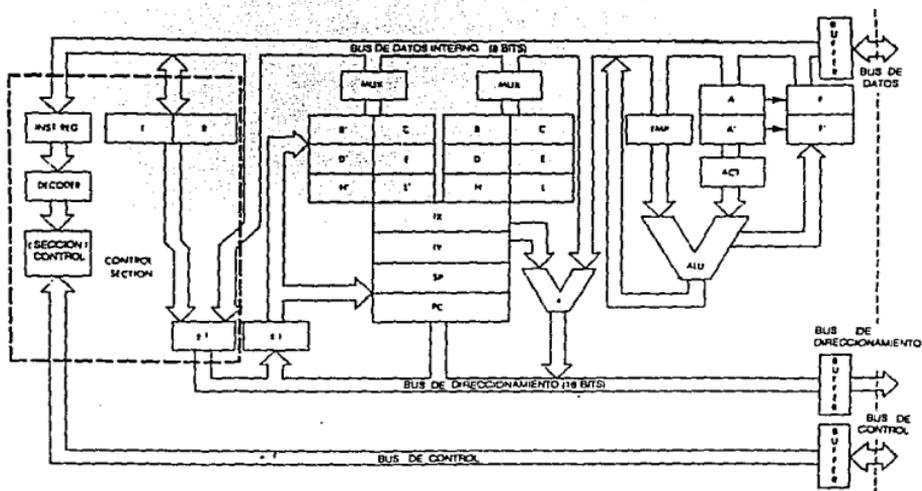


Figura 20

Lógica del Z80

En el Z80 las banderas se denominan "F", las cuales se encuentran a la derecha del acumulador. El ALU condiciona el contenido de las banderas, pudiendo ser cambiadas por medio de ciertas instrucciones.

Como se puede observar, el acumulador y las banderas están etiquetados respectivamente como doble registros, como se muestra a continuación: A, A' y F, F'. Esto se debe a que internamente el Z80 está equipado con dos juegos de registros: A + F, y A' + F'. Es importante mencionar que solo uno de estos registros puede ser usado a la vez. Existe una herramienta para el programador, mediante una instrucción se puede cambiar el contenido de A y F a A' y F'.

Se muestra un banco grande de registros en el centro de la figura, se pueden reconocer dos grupos idénticos de seis registros cada uno, denominados: B, C, D, E, H, L. Estos registros son usados en el Z80 con fines generales.

Una de las características del Z80 es el de contar con dos bancos de registros o dicho de otra forma dos bancos de seis registros cada uno. Al igual que el doble registro del acumulador y banderas solo se puede utilizar uno a la vez, pudiendo ser intercambiados dependiendo de las necesidades de programación. Con lo anterior se puede utilizar uno de ellos como memoria interna y el otro como registro de trabajo.

El multiplexor se encuentra arriba del banco de memoria. La información proveniente del bus interno de datos va a ser direccionada por este al registro seleccionado, solo pudiendo seleccionar uno de ellos a la vez.

Otra característica es la conectividad de los registros al bus de direccionamiento. Se agrupan en pares los registros para poder formar pares de registros de 16 bits, como el caso del par **BC**.

El tercer grupo de registros, el cual aparece por debajo de los anteriores contiene cuatro registros direccionables "puros". Dos de ellos (como en cualquier otro microprocesador) son el contador de programa (**PC**) y el apuntador (**SP**). El contador del programa es el que contiene la siguiente instrucción a ejecutar, mientras el apuntador esta señalando la última entrada.

Los dos registros restantes son los índices denominados **IX** (registro índice X) y el **IY** (registro índice Y). Adicionalmente se tiene a la derecha un **ALU** representado con un "V" en miniatura. Con esto algún byte que se encuentre en el bus de datos internos puede sumarse al contenido de **IX** o **IY**, llamando a este byte como un desplazamiento.

Finalmente, un cuadro denominado "1" es el incremento/decremento donde cualquier par de registros **SP**, **PC**, **BC**, **DE**, **HL**, pueden ser decrementados o incrementados cada vez que depositen una dirección en el bus de direccionamiento interno, con esto podemos hacer espiras ("loops") a nuestro agrado.

A la izquierda de la figura se observa un par de registros el **I** y el **R**. El primero es denominado como registro interruptor de direccionamiento. Cuando uno llama indirectamente a cierta localidad de memoria este contesta con una interrupción. El registro **I** sirve para almacenar la parte alta de una dirección indirecta, mientras que la parte baja es generada por el dispositivo que genero la interrupción.

El registro **R** es el que refresca la memoria. A este se le localiza tradicionalmente fuera del microprocesador, ya que esta asociado con la memoria dinámica. En algunos tipos de memorias dinámicas se le utiliza para minimizar la cantidad de "hardware".

Finalmente a la derecha de la figura podemos ver los tres buses: datos, direccionamiento y control.

Si el propósito es el hacer un programa sencillo, no es necesario conocer los elementos lógicos descritos anteriormente. Para entender como son ejecutadas las instrucciones dentro del microprocesador es importante conocer como escribir los códigos correctamente, saber dimensionar, las técnicas mas apropiadas y el como escoger los registros.

IV.3.- Detección de la temperatura ambiente

Como hemos venido hablando es necesario detectar la temperatura ambiente para poder compensar la unión de la soldadura fría; lo siguiente se deberá de considerar

para la elección del dispositivo capaz de hacer esta medición: un transductor de bajo costo y preciso.

Entre los transductores disponibles en el mercado los de mayor confiabilidad son los que fabrica "Analog Devices" y de estos el **AD592** fue el que se escogió, indicando la causa a continuación:

El AD592 es un transductor monolítico, encapsulado en un circuito integrado de dos terminales, el cual provee una salida de corriente proporcional a la temperatura absoluta. El diseño del AD592 permite alcanzar niveles absolutos de exactitud, evitando así errores de linealidad. Anteriormente esto no se podía alcanzar por el mismo precio.

Este dispositivo puede ser empleado en rangos de entre los -25°C a los $+105^{\circ}\text{C}$. En la actualidad es por su precio el más eficiente ya que no necesita: circuitos de linealidad, tensiones precisas de referencia o compensaciones. Es muy útil para detecciones remotas, inmune a caídas de tensión y ruidos en líneas largas debido a su alta impedancia en su corriente de salida.

IV.3.1.- Características del producto

1.- Con una sola fuente (4V a 30V) el AD592 nos ofrece una exactitud de 0.5°C en mediciones de temperatura.

2.- Amplio rango de operación (-25°C a $+105^{\circ}\text{C}$) y salida lineal perfecta.

3.- El AD592 es eléctricamente ruidoso ya que irregularidades en la alimentación, o tensiones inversas de hasta 20V no lo dañan.

4.- Cuando se usa remotamente es inmune al ruido.

5.- A través del tiempo el AD592 ha demostrado que no se degrada

Por su exactitud, alimentación, rangos de operación y por sus características se considera el AD592 el circuito ideal para la aplicación a la cual se le requiere. A continuación hablaremos sobre la compensación de la soldadura fría:

La **figura 21** nos muestra la compensación de la soldadura fría en un termopar, utilizando el AD592; como podemos apreciar ya no se necesitan las compensaciones antiguas como la referencia a cero grados centígrados (Punto de fusión del hielo) o de complicados circuitos puente.

Por medio de una simple selección de la resistencia de escala "R" el circuito mostrado, puede ser optimizado para cualquier rango de temperatura o bien para cualquier tipo de termopar. La salida de AD592 ($1A/K$) veces "R" se debe de aproximar lo mas posible a la línea de la curva del termopar (inclinación en V/C).

Adicionalmente, puede ser elegida la sensibilidad de la salida para la ganancia no invertida por medio de seleccionar las resistencias R_{g1} y R_{g2} . Los errores son atribuidos principalmente a los circuitos integrados en la referencia y las resistencias.

Debido a que el error obtenido en este tipo de compensaciones es alto, solo utilizaremos el AD592 como sensor de temperatura, en la **figura 22** podemos apreciar un ejemplo donde se obtiene una mejor exactitud debido a su doble ajuste con el cual se puede calibrar. La exactitud de este tipo es mayor a la de un solo ajuste y esto se puede apreciar en la **figura 23**.

IV.4.- Elección del Multiplexor

Para evitarnos la duplicidad de un convertidor A/D y para poder leer las señales analógicas provenientes del termopar y del circuito de compensación con uno solo, vamos a utilizar el multiplexor CD4051. Este va a ser gobernado por el microprocesador, el cual dará la señal digital necesaria para intercambiar la señal de entrada de un dispositivo a otro.

A continuación se hablara un poco del CD4051:

Como se comento el CD4051 esta controlado por señales digitales, siendo este un interruptor analógico, controlando señales analógicas de hasta 15V pico a pico, esto se logra con señales digitales que varían de 3V a 15V.

El CD4051 es un multiplexor de ocho canales donde se tienen tres señales de control binarias A, B, y C, y una entrada inhibidora. Las tres señales binarias seleccionan uno de los ocho canales ha encenderse y conectar la entrada a la salida.

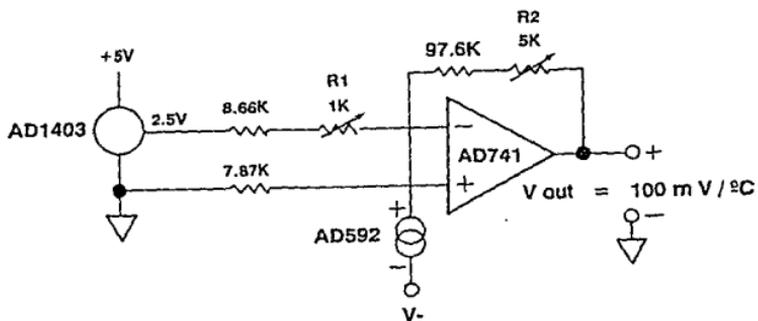


Figura 22

Circuito con Doble Ajuste de Temperatura

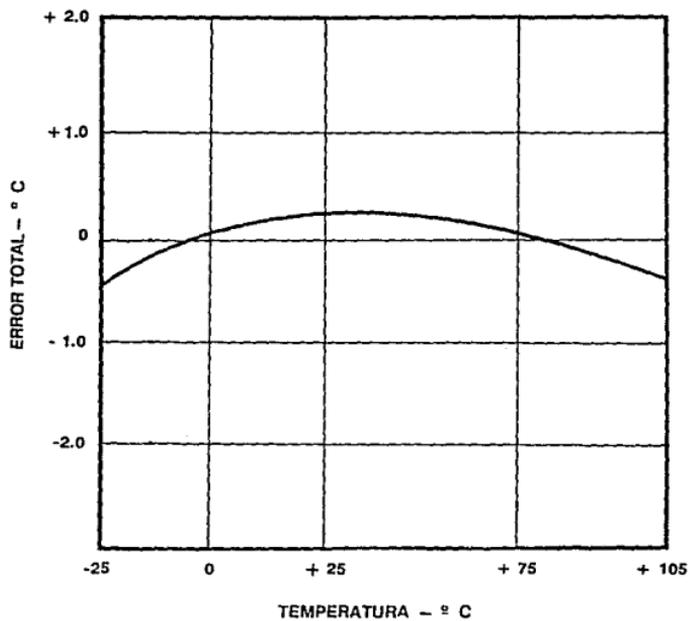


Figura 23

Exactitud del Circuito de Doble Ajuste

IV.5.- Elección del dispositivo de entrada/salida

Los circuitos integrados de entrada/salida a los que denominaremos I/O ("Input/Output) de ahora en adelante, son muchos y los hay paralelos y seriales. Entre los circuitos seriales I/O podemos citar el Motorola ACIA 6850 y el Intel USUART 8251, el Motorola PIA 6820 y el Intel PPI 8255 son ejemplos de I/O paralelos. Es mas fáciles de hacer interfases cuando estos circuitos son de su propia familia.

Un Motorola se puede llegar a conectar con un Intel siempre y cuando se tenga cuidado con los tiempos, de preferencia se recomienda hacerlo solo cuando exista una razón excepcional (disponibilidad). Uno debe tratar de mantenerse trabajando con la misma familia. Esencialmente lo que hacen estos dispositivos I/O en un sistema, sean paralelos o seriales, es el permitir la comunicación entre el microprocesador y dispositivos externos (teclados, visualizadores, etc.).

La gran flexibilidad en estos dispositivos es debido a su fácil programación. La configuración funcional de los puertos I/O es controlada por una palabra generada por el microprocesador, en el "software" se puede reconfigurar la operación del dispositivo.

Para la selección del I/O se debe considerar lo siguiente: primeramente, se debe de escoger que las partes sean de la misma familia que el procesador, si la parte correcta no esta disponible, entonces se puede considerar un circuito periférico de otro proveedor. Uno debe de asegurarse que el tiempo en la interfase sea el mismo entre el periférico y el procesador.

Debido a sus ventajas y conocimiento del mismo la interface I/O se eligió la programable I/O 8255A de Intel. Este, es un dispositivo programable de uso general, diseñado para ser utilizado con microprocesadores. Tiene 24 conectores, estos pueden ser individualmente programables en dos grupos de doce y pueden ser usados de tres formas.

En el primer modo (modo 0), cada uno de los dos grupos de doce conectores se pueden programar en grupos de 4, los cuales pueden ser salidas o entradas. En el modo 1, cada grupo puede ser programado en 8 líneas de entrada o salida. De las cuatro restantes tres son usadas para establecer comunicación ("handshaking") y las otras para las señales de control de interrupción. El tercer modo de operación (modo2), es el de un Bus bidireccional, el cual usa 8 líneas para el bus bidireccional, 5 líneas para la comunicación.

Con la utilización del 8255 y con su correcta programación el Z80 podrá comunicarse con el mundo externo, en nuestro caso esta comunicación va a ser entre la información que se encuentre a la salida del convertidor, los visualizadores, límites de temperatura, alarmas, etc.,

IV.6.- RESUMEN

Puesto que usaremos un microprocesador para controlar el termómetro, este será quien replique todas las funciones necesarias como son:

- Toma la lectura (f.e.m) del termopar.
- Toma la temperatura ambiente para compensar la soldadura fría.
- Calculo de la temperatura.
- Exhibir en el visualizador la temperatura.

Además de esto, y puesto que el microprocesador tiene capacidad sobrada, podríamos como ya hemos mencionado hacer otras muchas cosas, como por ejemplo controlar la temperatura dentro de ciertos límites, o correr un programa de prueba para dispositivos de fallas.

El programa de diagnóstico puede ser de gran utilidad por lo que lo mencionamos, dejando abierto este tema para futuras investigaciones.

Nos queda pues, como funciones del microprocesador, identificadas por el título del programa, las siguientes:

ADQ.- programa de adquisición encargado de tomar las lecturas del termopar y del termómetro ambiente.

CALCULO.- Programa encargado de calcular la temperatura, incluyendo la corrección de la soldadura fría.

DISPY.- Programa encargado de actualizar visualizadores, escribiendo en ellos la información previamente obtenida y almacenada en el lugar oportuno de la memoria.

TUBIB.- Programa de diagnóstico encargado de comprobar el funcionamiento de los visualizadores, revisan la exactitud del termómetro ambiente, del convertidor analógico digital y comprueban el funcionamiento del multiplexor de entrada. (Este como se comento, se dejará para futuras modificaciones).

IV.6.1.- Adquisición

La adquisición se hará a través de un CAD único para evitar duplicar una parte tan costosa: Eso nos obliga a plantear un circuito multiplexor antes de CAD.

La elección del convertidor (véase capítulo IV.1.4) ya se hizo y se optó por el ICL 7109 el cual nos entrega a la salida 12 bits más polaridad y desbordamiento, lo que nos da un total de 14 líneas de salida. A eso tenemos que añadirle las líneas de comunicación que en ambos sentidos conectaran al micro con el CAD.

Una posibilidad para reducir el número de líneas es la utilización de uno de tres estados el cual dispone el CAD para reducir las 14 líneas de salida antes mencionadas, por un solo puerto de 8 usando otro puerto de 8 para la comunicación, con este segundo puerto controlaremos también a el multiplexor de entrada del CAD.

Para esta comunicación usaremos un PIO de 24 líneas por lo que nos sobrara un puerto completo de 8 bits. Otra opción será usar un PIO de 16 líneas solamente (periférico normal del Z80) en cuyo caso no nos sobraría nada.

De acuerdo con lo dicho anteriormente necesitamos utilizar un PIO en el cual 8 líneas son estrictamente de entrada de datos (del CAD al micro) mientras que las otras 8 son de entrada y salida, mezclados:

(S1).- Una de salida al multiplexor para controlar la adquisición de la temperatura ambiente o la f.e.m del termopar.

(S2).- Otra de salida al CAD para ordenar el inicio de la comunicación.

(E1).- Otra de entrada, procedente del CAD que indique fin de conversión.

(S3) .- Otra de salida hacia el CAD para ordenar una prueba (esto se puede utilizar para la posibilidad del programa de diagnostico).

(S4-S5).- Otras dos de salida hacia el CAD para ordenar la transferencia de los bits de orden alto o bajo.

Nos quedan disponibles dos líneas mas del puerto, sin contar que las señales E1 y S2 podrían tomarse de las líneas de intercomunicación ("handshake") del puerto de entrada (puerto A), con lo que tendríamos entonces hasta 4 líneas disponibles en el puerto B.

Para tener mas líneas disponibles se podrían considerar dos posibilidades:

La primera es quitar en la multiplexion del 8 "high" / 8 "low" (S4, S5), nos quedan 6 disponibles en el puerto B, por lo tanto podemos mandar los 12 bits, sobrerango ("overrange"), y signo.

La segunda podría ser el poner el multiplexor a cero. La primera posibilidad es menos compleja y tiene menor numero de chips.

Adicionalmente a lo comentado anteriormente nos viene a la mente: ¿Que mas podemos necesitar?.

Como se ha mencionado en capítulos anteriores se podría usar una línea extra para forzar en el multiplexor de entrada una entrada de calibración (S6).

Podríamos usar otra línea para prender un LED que indique por ejemplo si la temperatura desplegada es la ambiente o la del termopar. Ligados a estos podríamos poner un interruptor que nos permita seleccionar en la pantalla la temperatura ambiente o la temperatura del termopar.

Resumiendo, podemos plantear el esquema siguiente:

Puerto A (8 bits)	Entrada	8 bits bajos más 4 bits altos más sobrerango más polaridad.
-------------------	---------	---

Puerto A ("handshake")	línea de entrada línea de salida	fin de conversión empezar conversión
------------------------	-------------------------------------	---

Puerto B (8 bits)...

B0/B1	salida	control del mux
B2	salida	Test
B3/B4	salida	Selección de "HI/LOW"
B5	salida	Interruptor Tamb/Ttermopar
B6	entrada	fin de conversión
B7	salida	visualizadores

IV.6.3.- Programa

Este tema va a ser planteado en el próximo capítulo donde veremos el diagrama de flujo, así como todos los programas que se necesitan para hacer funcionar todos los dispositivos en conjunto los cuales son manejados por el microprocesador.

En si los programas necesarios son:

- Calcular la temperatura (CALCULO)
- Adquirir la fem del termopar (ADQ)
- Adquirir la temperatura de la unión fría (ADQ)
- Mostrar datos en visualizadores (DISP)
- Diagnósticos (quedara pendiente)

CAPITULO V

PROGRAMACION

V.1.- Introduccion

Como se analizo en capitulos anteriores, existe la necesidad de crear un programa capaz de manejar toda la informacion y a su vez los dispositivos que estan envueltos en nuestro circuito. Anteriormente se planteo el circuito a bloques por lo que en este capitulo vamos a comentar la logica de programacion a seguir asi como algunos ejemplos de programas secundarios.

Una vez elegidos los dispositivos que se van a conectar al **Z80**, es importante hacer un planteamiento del programa que va a controlarlos.

La informacion que se va a recaudar de los diferentes elementos y con la que el microprocesador tiene que trabajar es la siguiente:

- A) F.e.m. del termopar
- B) Voltaje del circuito de temperatura ambiente.
- C) Obtencion de la temperatura a traves del uso de las tablas.
- D) Resta de la temperatura del termopar menos la de la temperatura ambiente.

E) visualización del resultado

Para realizar lo anterior es necesario la elaboración de un programa principal que maneje toda la información. Este se va a subdividir en otros, en los cuales se va a procesar el dato obtenido de cada etapa; el programa principal va a estar encargado de concentrar todos los resultados y mostrar por medio de los visualizadores el resultado final. (TEMPERATURA COMPENSADA)

La programación del microprocesador no es el objetivo de esta tesis, sino, el desarrollo y planteamiento de nuestro tema, por ello, solo vamos a incluir dentro del programa principal la programación de las etapas más importantes: el programa del cálculo de la temperatura en el termopar para un f.e.m dada y el cambio de un número binario a BCD, este último es el que vamos a emplear en el manejo de los visualizadores. (ver programas apéndice)

V.2.- Diagrama de flujo del programa principal

En la **figura 24** se observa el diagrama de flujo del programa principal o maestro, de este se van a desprender otros programas como se mencionó con anterioridad.

El primer dispositivo que se va a controlar va a ser el multiplexor, dirigiéndose a la salida del termopar (unión fría). Esta información va a ser convertida por el convertidor A/D y recibida por el microprocesador donde se desplazará al programa de búsqueda.

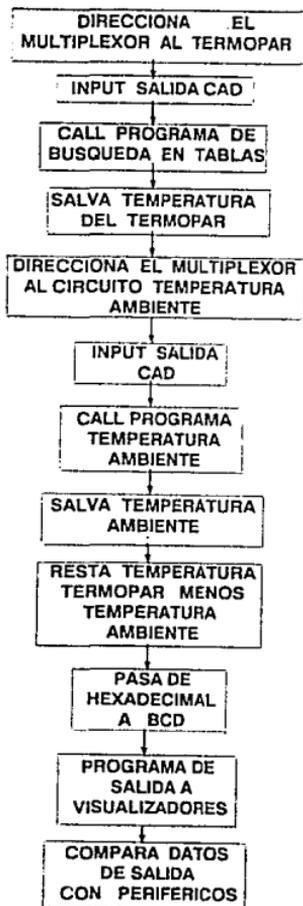


Figura 24

Diagrama de Flujo del Programa Principal

de datos en tablas para encontrar la temperatura correspondiente a ese valor, una vez obtenida se salva, en una localidad de memoria.

Se le manda una señal al multiplexor para que este cambie su direccionamiento a la salida del circuito de temperatura ambiente, se convierte la tensión por medio del convertidor y por medio de otro programa secundario se procede a encontrar su valor correspondiente de temperatura salvandolo en memoria.

Una vez hecho lo anterior se procede a efectuar la resta de las dos temperaturas (Termopar - Ambiente) para así efectuarse la compensación, se carga un par de registros con el contenido de las localidades de memoria donde se salvaron los resultados de ambas temperaturas y el resultado lo pasamos de hexadecimal a BCD.

Finalmente el resultado lo pasamos a los visualizadores cambiandolo de BCD a 7 segmentos, este último lo dejamos funcionando en forma de "LOOP" hasta que le llegue una información diferente del microprocesador, lo anterior con la finalidad de que nunca se apaguen los visualizadores y que estos tengan actualizada la última lectura.

El mismo programa podría comparar el resultado con otros periféricos, como podrían ser: límites de temperatura, alarmas, etc. dejándolo todo esto para investigaciones o mejoras futuras.

V.3.- PLANTEAMIENTO DEL PROGRAMA "TEMPERATURA DEL TERMOPAR"

La búsqueda en tablas del dato que se tiene a la salida del convertidor proveniente del termopar, es sin duda la programación más importante de esta tesis. Se puede apreciar el flujo de este programa en la **figura 25**, donde podemos observar lo siguiente:

Primeramente se alimenta la memoria del microprocesador con la tabla de las f.e.m. (**tabla 2**). La forma de hacerlo es con una doble información partiendo los datos en dos, es decir, primeramente se van a alimentar la parte más significativa y posteriormente su complemento. Ejemplo: se alimenta el primer dato en la localidad de memoria 3000 que corresponde al valor de temperatura de cero grados centígrados.

En cada localidad solo podemos poner dos números por lo que se va a poner solo la información más significativa en la 3001 se alimenta el más significativo que corresponda a 1 grado y así sucesivamente hasta llegar al último valor de temperatura de nuestra tabla. Al terminar de alimentar los bytes más significativos empezamos a alimentar los bytes menos significativos en la localidad de memoria que sumándole una constante a 3000 me de su complemento, en otras palabras al sumarle una constante a la localidad de memoria donde se encuentra el más significativo nos podemos desplazar del más significativo a su complemento (menos significativo).

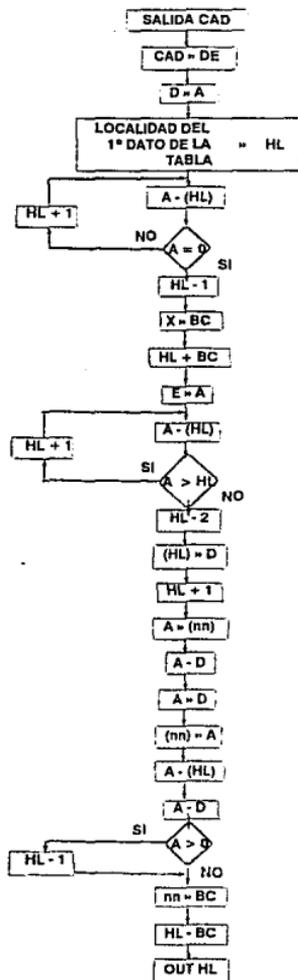


Figura 25
Flujo del Programa "Temperatura del Termopar"

Para fines de estudio vamos a dividir el diagrama de flujo en cuatro partes, a continuacion las explicaremos:

La primera empieza con el dato a la salida del CAD mismo que es guardado en una localidad de memoria. Una vez echo lo anterior se carga el par de registros DE con ese dato, en el registro D guardamos el bite mas significativo, quedando el menos significativo en E.

Se carga el acumulador con D y por otro lado se carga el puntero de HL con la localidad de memoria en la cual se encuentra el primer dato de nuestra tabla.

La segunda parte del diagrama es el algoritmo para localizar el primer dato en tabla que sea igual al que tenemos en D y que ahora tenemos cargado en A, como se sabe, entre grado y grado hay una diferencia de .05 milivolts, es por eso que en memoria se tienen unos 20 grados empezando con el mismo numero.

El contenido de la localidad de memoria direccionada por el registro par HL es restada del acumulador, el resultado se descarta y solo las banderas son afectadas. El registro HL se incrementa.

La bandera Z se pone en 1 cuando $A = (HL)$, si Z es igual a cero se repite la operacion.

La instrucción se compara con incremento (automáticamente se incrementa el registro HL en uno) por lo que se tiene que decrementar en uno en el caso de que se llegue a tener la condición de que el acumulador sea igual al contenido del par de registros HL.

Una vez ya encontrada la localidad que contiene el dato igual al contenido del acumulador, se le suma al par de registros HL una constante (que denominaremos K), para que el puntero direcciona el bite menos significativo, mismo que es el complemento del primero.

El bite menos significativo lo tenemos cargado en el registro E mismo que cargamos a nuestro acumulador empezando así con la tercera parte del programa.

En esta parte se hace la resta también del acumulador con lo que tenemos en la localidad de memoria apuntada por el par de registros HL, la única diferencia es que ahora no se compara si el resultado es cero sino que si este es positivo, de serlo así se incrementa HL y de no serlo se decrementa HL en dos con el objeto de ver cual de los datos es el más preciso.

Para la precisión se utiliza la cuarta parte del programa donde una vez ya encontrado el valor en tablas con el de la entrada, se compara el anterior para determinar cual de los dos es el más preciso.

Al final se le resta a HL la constante "K" que se le había aumentado menos 3000 que fue donde iniciamos nuestra tabla, donde nos va a quedar como resultado el valor de la temperatura en la localidad de memoria donde esta HL, es importante aclarar que el valor que vamos a utilizar es de la localidad no el contenido de esta.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

Desde el inicio de la tesis (1985) y su final (1992), se elaboro e investigo todo el contexto del tema que se estaba tratando, desarrollando cada uno de ellos; al cabo del tiempo fueron sucediendo muchas cosas:

Primeramente pensamos que en el área en la que íbamos a plantear nuestra tesis había mucho por hacer, consideramos la importancia de desarrollar una tecnología propia misma que no dependiera de las extranjeras.

Continuamente mientras estuvimos trabajando con esta tesis se estuvo luchando con los avances tecnológicos, en un principio se pensó obtener el valor de la temperatura por medio de la curva característica de los termopares; para lograr esto se estudiaron las subrutinas que eran necesarias para poder encontrar el valor equivalente a una f.e.m. dada (como sabemos el comportamiento de los termopares no es lineal).

Lo anterior nos tomó mucho tiempo de desarrollo e investigación ya que todas las operaciones a efectuarse en el microprocesador tenían que hacerse con base en sumas y restas y una vez que se tenía algo en papel se tenía que probar. Conforme pasaron los meses se notó (como siempre sucede) un decremento considerable en el precio de las memorias y a su vez una mayor capacidad en las mismas.

Este avance tecnológico nos obligo a girar nuestro enfoque 180 grados y por primera vez se tubo que considerar el alimentar las tablas de las fuerza electromotriz de los termopres en memoria, no solo por la facilidad de acceso a la información sino por la exactitud que podíamos alcanzar utilizando otra metodología.

Al utilizar la primera opción (curva característica) la exactitud no fue tan buena debido a que íbamos perdiendo información conforme cambiamos de subrutina a subrutina; en cambio utilizando los datos en tabla se tiene un error maximo de 1 grado centigrado en rangos de -100 grados a + 700 grados. Esto afirmaba la necesidad de cambiar de metodología, por todos los medios, nos traia beneficios en cuanto a la confiabilidad y desde el punto de vista del dispositivo uno con mayores ventajas, ya que al no utilizar el microprocesador en el calculo de curvas lo podíamos emplear en ese tiempo a desarrollar otras funciones.

La idea era muy buena, el poder utilizar recursos que ya se tenían en un desarrollo de tecnología propio, utilizaríamos un buen convertidor, un microprocesador que en ese tiempo era sumamente versatil y conocido en el mercado y perifericos comunes y faciles de conseguir localmente. El termopar de fierro-constantan era otro dispositivo que se encontraba en mercado con facilidad, este como se platico con anterioridad es de la familia J uno de los mas usados hoy en día en la industria.

Una vez que se determino y termino todo el analisis del planteamineto y desarrollo de esta tesis volvieron a suceder muchas cosas. Como sucede frecuentemente los

productos modernos son cada vez mas complejos tecnológicamente hablando y sin embargo mas baratos, esto nos lleva a un punto en donde no es costeable el desarrollo propio y por lo tanto como ya hemos mencionado con anterioridad nos sometemos a la muy peligrosa esclavitud: "La Tecnología".

Para fundamentar lo dicho tenemos que analizar lo que "HOY EN DIA" esta sucediendo en el mercado:

1.- HOY, se tienen otras tecnologías que no se tenían al momento que se empezó a desarrollar esta tesis. Si empezáramos de nuevo la tesis, el plantamiento o mas bien dicho el enfoque sería otro, buscaríamos la manera de mejorar un diseño existente de acuerdo a las necesidades del mercado nacional (tropicalizarlo).

2.- HOY, el desarrollo de la tecnología a nivel nacional pasa a un segundo plano; se convierte el desarrollo de volumen en algo mas importante debido a la economía de escala, para que sufrir con un diseño muy bien hecho donde nunca voy a poder competir por el volumen que yo voy a manejar.

El desarrollar tecnología inferior sale mas barato ya que con volumen se pueden amortizar todos los costos de mi proceso.

3.- HOY, el problema ya está resuelto. Existen en el mercado soluciones como esta a un precio inferior y con marca reconocida (un ejemplo "OMEGA"), entonces, ¿porqué voy a comprar el mas caro?.

4.- HOY hace 8 años (fecha en la que inicie la tesis) no existían circuitos "CUSTOM" o si no eran muy difíciles de conseguir debido a lo caro de su diseño, tampoco existían en el mercado nacional soluciones aplicables a nuestra necesidad debido a la restricción que se tenía de compra de productos con microprocesadores en el extranjero.

Con la apertura comercial todo esto cambió, se abrieron las fronteras a equipos de cómputo y en general a todos los equipos con aplicaciones industriales. Otro gran motivo por el cual ya no es costoso desarrollar tecnología propia, sino por el contrario aprovechar la tecnología mundial donde se maneja otra escala de volumen y mejor aprovechar nuestro tiempo en adecuar todas ellas a las necesidades que se tienen en el entorno nacional donde el uso de equipos producidos para aplicaciones generales, no aplica.

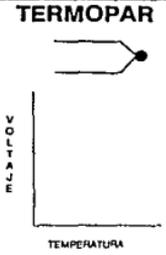
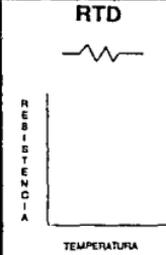
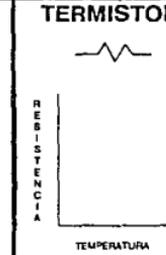
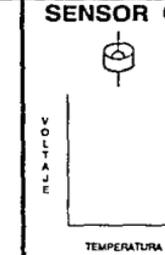
Se ha demostrado que el éxito de todos los desarrolladores o innovadores de tecnología está en el volumen, en lugar de fabricar un diseño a detalle es importante recomendar o simplemente sugerir a toda aquella persona que va a desarrollar algo, que lo concrete rápido y que piense en volumen.

Recomiendo a todas las personas que tengan en mente desarrollar algo que ya existe en el mercado como tema de tesis que mejor apliquen su tiempo y esfuerzo en mejorar algo que vaya a beneficiar los procesos de manufactura nacional o en sí cualquier necesidad del país; las necesidades que nosotros tenemos son muy diferentes a las

que se tienen en otros países. Es por eso el poner un énfasis en adecuar toda la tecnología a una sola: La tecnología que necesita el mercado mexicano.

TABLAS

TRANSDUCTORES DE TEMPERATURA

	TERMOPAR	RTD	TERMISTOR	SENSOR C.I.
				
V E N T A J A S	<ul style="list-style-type: none"> * Simple * Barato * Variedad de formas * Alto rango de temperatura 	<ul style="list-style-type: none"> * El más estable * Exactitud * Mayor linealidad que el termopar 	<ul style="list-style-type: none"> * Alta salida * Rápido 	<ul style="list-style-type: none"> * El más lineal * Salida mas alta * Barato
D E S V E N T A J A S	<ul style="list-style-type: none"> * No linealidad * Voltaje bajo * Referencia * Estabilidad * Sensitividad 	<ul style="list-style-type: none"> * Caro * Lento * Requiere fuente de corriente * Se calienta * Cambios en su resistencia 	<ul style="list-style-type: none"> * No lineal * Rango de temp. limitado * Frágil * Requiere fuente de corriente * Se calienta 	<ul style="list-style-type: none"> * $T < 200^{\circ}$ * Requiere fuente de poder * Lento * Se calienta

*C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	*C
Mirolitos												
350	18,080	18,144	18,109	18,254	18,208	18,184	18,420	18,473	18,526	18,585	18,640	350
360	18,640	18,695	18,751	18,806	18,861	18,916	18,971	20,028	20,083	20,137	20,191	360
370	20,192	20,247	20,302	20,357	20,412	20,467	20,522	20,578	20,632	20,688	20,741	370
380	20,743	20,798	20,853	20,909	20,964	21,018	21,074	21,129	21,184	21,239	21,294	380
390	21,295	21,350	21,405	21,460	21,515	21,570	21,625	21,680	21,735	21,791	21,844	390
400	21,846	21,901	21,956	22,011	22,066	22,121	22,177	22,232	22,287	22,343	22,397	400
410	22,398	22,453	22,508	22,563	22,618	22,673	22,728	22,784	22,839	22,894	22,949	410
420	22,949	23,004	23,059	23,115	23,170	23,225	23,280	23,336	23,391	23,446	23,501	420
430	23,501	23,556	23,611	23,667	23,722	23,777	23,832	23,888	23,943	23,999	24,054	430
440	24,054	24,109	24,164	24,220	24,275	24,330	24,386	24,441	24,496	24,552	24,607	440
450	24,607	24,662	24,718	24,773	24,829	24,884	24,939	24,995	25,050	25,106	25,161	450
460	25,161	25,217	25,272	25,327	25,383	25,438	25,494	25,549	25,605	25,661	25,716	460
470	25,716	25,772	25,827	25,883	25,938	25,994	26,050	26,105	26,161	26,216	26,272	470
480	26,272	26,328	26,383	26,439	26,495	26,551	26,607	26,663	26,718	26,774	26,829	480
490	26,829	26,885	26,941	26,997	27,053	27,109	27,165	27,221	27,277	27,332	27,388	490
500	27,388	27,444	27,500	27,556	27,612	27,668	27,724	27,780	27,836	27,892	27,948	500
510	27,948	28,004	28,060	28,117	28,173	28,229	28,285	28,342	28,398	28,455	28,511	510
520	28,511	28,567	28,624	28,680	28,737	28,793	28,849	28,906	28,963	29,019	29,075	520
530	29,075	29,132	29,189	29,245	29,302	29,359	29,415	29,471	29,528	29,585	29,642	530
540	29,642	29,699	29,755	29,812	29,869	29,926	29,983	30,039	30,096	30,153	30,210	540
550	30,210	30,267	30,324	30,381	30,439	30,496	30,553	30,610	30,667	30,724	30,782	550
560	30,782	30,839	30,896	30,954	31,011	31,068	31,126	31,183	31,241	31,298	31,356	560
570	31,356	31,413	31,471	31,528	31,586	31,644	31,702	31,759	31,817	31,875	31,933	570
580	31,932	31,991	32,048	32,106	32,164	32,222	32,280	32,338	32,396	32,455	32,513	580
590	32,513	32,571	32,628	32,687	32,745	32,804	32,862	32,921	32,979	33,038	33,096	590
600	33,096	33,155	33,213	33,272	33,330	33,389	33,448	33,507	33,565	33,624	33,683	600
610	33,683	33,742	33,801	33,860	33,919	33,977	34,037	34,095	34,155	34,214	34,273	610
620	34,273	34,332	34,391	34,451	34,510	34,569	34,629	34,688	34,748	34,807	34,866	620
630	34,867	34,926	34,986	35,046	35,105	35,165	35,225	35,285	35,344	35,404	35,463	630
640	35,464	35,524	35,584	35,644	35,704	35,764	35,825	35,885	35,945	36,005	36,065	640
650	36,066	36,126	36,186	36,247	36,307	36,368	36,428	36,489	36,549	36,609	36,670	650
660	36,671	36,732	36,792	36,853	36,914	36,975	37,036	37,097	37,158	37,219	37,280	660
670	37,280	37,341	37,402	37,463	37,525	37,586	37,647	37,709	37,770	37,831	37,892	670
680	37,893	37,954	38,015	38,077	38,139	38,201	38,262	38,324	38,385	38,447	38,508	680
690	38,509	38,571	38,632	38,694	38,757	38,819	38,882	38,944	39,006	39,068	39,130	690
700	39,131	39,193	39,255	39,317	39,379	39,442	39,504	39,567	39,629	39,692	39,754	700
710	39,756	39,818	39,880	39,942	40,005	40,068	40,131	40,193	40,256	40,319	40,382	710
720	40,384	40,447	40,510	40,573	40,636	40,699	40,762	40,825	40,888	40,951	41,014	720
730	41,016	41,079	41,142	41,205	41,268	41,331	41,394	41,457	41,520	41,583	41,646	730
740	41,648	41,711	41,774	41,837	41,901	41,964	42,028	42,092	42,155	42,219	42,282	740
750	42,284	42,347	42,411	42,475	42,538	42,602	42,666	42,730	42,794	42,858	42,922	750
760	42,924	42,988	43,052	43,116	43,180	43,244	43,308	43,372	43,436	43,500	43,564	760
770	43,566	43,630	43,694	43,758	43,822	43,886	43,949	44,014	44,078	44,142	44,207	770
780	44,209	44,273	44,337	44,401	44,465	44,529	44,593	44,658	44,722	44,786	44,850	780
790	44,852	44,917	44,981	45,046	45,111	45,175	45,240	45,304	45,369	45,434	45,498	790
800	45,499	45,564	45,629	45,694	45,759	45,824	45,889	45,954	46,019	46,084	46,149	800
810	46,149	46,214	46,279	46,344	46,409	46,474	46,539	46,604	46,669	46,734	46,800	810
820	46,800	46,865	46,930	46,995	47,060	47,125	47,190	47,255	47,320	47,385	47,450	820
830	47,450	47,515	47,580	47,645	47,710	47,775	47,840	47,905	47,970	48,035	48,099	830
840	48,099	48,164	48,229	48,294	48,359	48,424	48,489	48,554	48,619	48,684	48,749	840
850	48,749	48,814	48,879	48,944	49,009	49,074	49,139	49,204	49,269	49,334	49,399	850
860	49,399	49,464	49,529	49,594	49,659	49,724	49,789	49,854	49,919	49,984	50,049	860
870	50,049	50,114	50,179	50,244	50,309	50,374	50,439	50,504	50,569	50,634	50,699	870
880	50,699	50,764	50,829	50,894	50,959	51,024	51,089	51,154	51,219	51,284	51,349	880
890	51,349	51,414	51,479	51,544	51,609	51,674	51,739	51,804	51,869	51,934	51,999	890
900	51,999	52,064	52,129	52,194	52,259	52,324	52,389	52,454	52,519	52,584	52,649	900
910	52,649	52,714	52,779	52,844	52,909	52,974	53,039	53,104	53,169	53,234	53,299	910
920	53,299	53,364	53,429	53,494	53,559	53,624	53,689	53,754	53,819	53,884	53,949	920
930	53,949	54,014	54,079	54,144	54,209	54,274	54,339	54,404	54,469	54,534	54,599	930
940	54,599	54,664	54,729	54,794	54,859	54,924	54,989	55,054	55,119	55,184	55,249	940

* Nota: La temperatura de trabajo máxima recomendada para el termopar tipo J es de 760° C (1400° F). La T.C.M. indicada a temperaturas superiores es una extrapolación matemática.

COEFICIENTES POLINOMIALES

NBS

	TIPO E	TIPO J	TIPO K	TIPO R	TIPO S	TIPO T
	NIQUEL 10% CROMO (-) CONTRA CONSTANTAN (1)	hierro (+) CONTRA CONSTANTAN (1)	NIQUEL 10% CROMO (-) CONTRA NIQUEL 5% (1)	PLATINO 13% RODIO (+) CONTRA PLATINO (1)	PLATINO 10% RODIO (+) CONTRA PLATINO (1)	COBRE (+) CONTRA CONSTANTAN (1)
	-100 °C A 1000 °C ± 0.5 °C 8º ORDEN	0 °C A 780 °C ± 0.1 °C 8º ORDEN	0 °C A 1370 °C ± 0.7 °C 8º ORDEN	0 °C A 1000 °C ± 0.5 °C 8º ORDEN	0 °C A 1750 °C ± 0.1 °C 8º ORDEN	-180 °C A 400 °C ± 0.5 °C 7º C
A0	0.104957248	0.046866252	0.226584902	0.203632917	0.927765167	0.100660610
A1	17189.45282	19673.14503	24152.10600	179075.481	169526.5150	25727.84369
A2	-232639.0850	-216614.5353	87233.4248	-46640341.37	-31568303.94	-7873456295
A3	12655339.5	11569199.78	2210340.682	1.90002E + 10	8960730663	78025505.81
A4	-448703064.6	-264917531.4	-809913914.9	-4.82704E + 12	-1.63586E + 12	-924786506
A5	1.10866E + 10	2018441314	4.83508E + 10	7.6291E + 14	1.88227E + 14	6.97686E + 11
A6	-1.78407E + 11		-1.18452E + 12	-7.20026E + 16	-1.37241E + 16	-2.86192E + 13
A7	171842E + 12		1.38690E + 13	3.71495E + 18	6.17594E + 17	3.04078E + 14
A8	-9.19278E + 12		-8.33709E + 13	-8.02104E + 16	189535E + 20	
A9	2.06132E + 12					

ECUACION DE CONVERSION DE LA TEMPERATURA:

$$T = A_0 + A_1X + A_2X^2 + \dots + A_nX^n$$

FORMA POLINOMINAL NESTED:

$$T = A_0 + X(A_1 + X(A_2 + X(A_3 + X(A_4 + A_5X)))$$
 5º ORDEN

INDUSTRIA	APLICACION	TUBO O VAINA
<p>Tratamientos</p> <p>Termicos</p>	<p>Recocido</p> <p>Carburación</p> <p>Templado:</p> <p>< 700 °C</p> <p>700 a 1100 °C</p> <p>> 1100 °C</p> <p>Nitruración</p> <p>Baños de sales</p>	<p>Inconel o hierro</p> <p>Inconel</p> <p>Hierro forjado</p> <p>Inconel o hierro</p> <p>Cerámico o pirómetro</p> <p>Hierro</p> <p>Inconel, hierro</p>
<p>Hierro</p> <p>y</p> <p>Acero</p>	<p>Hornos de soplado</p> <p>Hogar</p> <p>Techo</p> <p>Calderas de recuperación</p> <p>Fosos de recalentamiento</p> <p>< 1100 °C</p> <p>> 1100 °C</p> <p>Soldadura fuerte</p> <p>Recocido brillante</p> <p>Forjado</p> <p>Galvanización</p>	<p>Inconel o hierro</p> <p>Inconel o pirómetro</p> <p>Pirómetro de radiación</p> <p>Inconel o hierro</p> <p>Inconel o hierro</p> <p>Cerámico y carburo de silicio</p> <p>Inconel o hierro</p> <p>Cerámico y carburo de silicio</p> <p>Pirómetro de radiación</p> <p>Termopar tipo J</p> <p>Cerámico y carburo de silicio</p> <p>Acero o carburo de silicio</p>
<p>Metales</p> <p>no</p> <p>Férricos</p>	<p>Fundición aluminio</p> <p>Tratamiento térmico del AL</p> <p>Fundición de latón</p> <p>Recocido</p> <p>Palanquilla</p> <p>Moldeo</p> <p>Plomo</p> <p>Magnesio</p> <p>Estaño</p>	<p>Carburo de silicio</p> <p>Hierro o sin tubo de protección</p> <p>Metal fundido especial</p> <p>Hierro o sin tubo de protección</p> <p>Inconel o hierro</p> <p>Hierro o carburo de silicio</p> <p>Hierro o sin tubo de protección</p> <p>Hierro</p> <p>Acero sin soldadura</p>
<p>Cemento</p>	<p>Conductos de salida</p> <p>Horno</p>	<p>Inconel o hierro</p> <p>pirómetro de radiación</p>

TABLA 5

JRUN

-----0-----

7.18539E-03 .0436942127 .0946127854 .145570338 .196566871 .247602384 .2986
76878 .349790351 .400942805 .452134238

-----10-----

.503364652 .554634046 .60594242 .657289774 .708676108 .760101422 .81156571
7 .863068991 .914611246 .966192481

-----20-----

1.0178127 1.06947189 1.12117007 1.17290722 1.22468336 1.27649847 1.3283525
7 1.38024564 1.4321777 1.48414874

-----30-----

1.53615875 1.58820775 1.64029572 1.69242268 1.74458862 1.79679353 1.849037
43 1.90132031 1.95364216 2.006003

-----40-----

2.05840282 2.11084162 2.16331939 2.21583615 2.26839189 2.32098661 2.373620
3 2.42629298 2.47900464 2.53175528

-----50-----

2.5845449 2.6373735 2.69024107 2.74314763 2.79609317 2.84907769 2.9020119
2.95516367 3.00826513 3.06140557

-----60-----

3.11458499 3.16780339 3.22106077 3.27435713 3.32769247 3.38106679 3.434480
09 3.48793237 3.54142363 3.59495387

-----70-----

3.64852309 3.70213129 3.75577847 3.80946463 3.86318978 3.9169539 3.970757
4.02459908 4.07848014 4.13240018

-----80-----

4.30948048 4.36249095 4.41551151 4.46854214 4.52158285 4.57463363 4.627694
49 4.68076544 4.73384645 4.78693755

-----90-----

4.84003872 4.89314996 4.94627129 4.99940269 5.05254416 5.10569572 5.158857
35 5.21202906 5.26521085 5.31840271

-----100-----

5.37160465 5.42481666 5.47803876 5.53127093 5.58451317 5.6377655 5.6910279
5.74430037 5.79758293 5.85087556

-----110-----

5.90417827 5.95749105 6.01081301 6.06414685 6.11748987 6.17084296 6.224206
13 6.27757938 6.3309627 6.3843561

-----120-----

6.43775958 6.49117313 6.54459676 6.59803047 6.65147425 6.70492811 6.758391
05 6.81186607 6.86535016 6.91884433

-----130-----

6.97234858 7.0258629 7.07938729 7.13292178 7.18646633 7.24002096 7.2935856
7 7.34716045 7.40074531 7.45434025

-----140-----

7.50794526 7.56156035 7.61518553 7.66882076 7.72246609 7.77612149 7.829781
97 7.88346252 7.93714815 7.99084386

-----150-----

8.04454964 8.0982655 8.15199144 8.20572745 8.25947354 8.31322971 8.366995
6 8.42077228 8.47455868 8.52835515

-----160-----

8.58216171 8.63597834 8.68980504 8.74364178 8.79748869 8.85134563 8.90521
63 8.95908973 9.01297689 9.06687413

-----170-----

9.12078146 9.17469886 9.22862634 9.28256389 9.33651152 9.39046922 9.44443
9.49841487 9.5524028 9.60640081

-----180-----

9.6604089 9.71442707 9.76845532 9.82249364 9.87654203 9.93060051 9.984669
6 10.0387477 10.0928364 10.1469352

-----190-----

10.201044 10.255163 10.309292 10.3634311 10.4175802 10.4717395 10.5259088
10.5800882 10.6342777 10.6884772

-----200-----

10.7426869 10.7969066 10.8511363 10.9053762 10.9596261 11.0138862 11.0681
62 11.1224364 11.1767267 11.231027

-----210-----

11.2853374 11.3396578 11.3939884 11.448329 11.5026797 11.5570405 11.61141
4 11.6657923 11.7201833 11.7745844

-----220-----

11.8289956 11.8834168 11.9378481 11.9922895 12.046741 12.1012026 12.15567
2 12.2101559 12.2646477 12.3191495

-----230-----

12.3736815 12.4281835 12.4827156 12.5372577 12.59181 12.6463723 12.7009447
12.7555272 12.8101197 12.8647223

-----240-----

12.919335 12.9739578 13.0285907 13.0832336 13.1378666 13.1925497 13.247222
9 13.3019061 13.3565294 13.4113028

-----250-----

13.4660163 13.5207399 13.5754735 13.6302172 13.684971 13.7397348 13.794508
8 13.8492928 13.9040869 13.958891

-----260-----

14.0137053 14.0685296 14.123364 14.1782084 14.233063 14.2879276 14.3428023
14.3976871 14.452582 14.5074869

-----270-----

14.5624019 14.617327 14.6722622 14.7272074 14.7821627 14.8371281 14.892103
6 14.9470891 15.0020848 15.0570905

-----280-----

15.1121063 15.1671321 15.222168 15.277214 15.3322701 15.3873363 15.4424125
15.4974989 15.5525953 15.6077017

-----290-----

15.6628183 15.7179449 15.7730816 15.8282284 15.8833852 15.9385522 15.99372
92 16.0489163 16.1041134 16.1593207

-----300-----

16.214538 16.2697654 16.3250028 16.3802504 16.435508 16.4907757 16.5460535
16.6013414 16.6566393 16.7119473

-----310-----

16.7672654 16.8225935 16.8779318 16.9332801 16.9886385 17.044007 17.099385
5 17.1547741 17.2101728 17.2655816

-----320-----

17.3210005 17.3764294 17.4318684 17.4873175 17.5427767 17.5982459 17.65372
52 17.7092146 17.7647141 17.8202236

-----330-----

17.8757433 17.931273 17.9868127 18.0423626 18.0979225 18.1534925 18.209072
6 18.2646628 18.320263 18.3758733

-----340-----

18.4314937 18.4871242 18.5427647 18.5984154 18.6540761 18.7097468 18.76542
77 18.8211186 18.8768196 18.9325307

-----350-----

13.9892519 19.0439631 19.0997244 19.1554758 19.2112373 19.2670068 19.32279
05 13.3785822 19.434384 19.4901958

-----360-----

19.5460177 19.6018497 19.6576918 19.713544 19.7694062 19.8252785 19.881160
9 19.9370534 19.9929559 20.0488686

-----370-----

20.1047913 20.160724 20.2166669 20.2726198 20.3285828 20.3845559 20.440539
1 20.4965323 20.5525356 20.608549

-----380-----

20.6645725 20.720606 20.7766497 20.8327034 20.8887671 20.944841 21.0009245
21.0570189 21.113123 21.1692372

-----390-----

21.2253614 21.2814957 21.3376401 21.3937946 21.4499591 21.5061337 21.56231
84 21.6185132 21.6747181 21.730933

-----400-----

21.787158 21.8433931 21.8996383 21.9558935 22.0121588 22.0684340 22.12471
7 22.1810152 22.2373208 22.2936365

-----410-----

22.3499623 22.4062982 22.4626441 22.5190001 22.5753662 22.6317423 22.68811
86 22.7445249 22.8009313 22.8573477

-----420-----

22.9137743 22.9702109 23.0266576 23.0831144 23.1395812 23.1960582 23.2525-
52 23.3090423 23.3655494 23.4220666

-----430-----

23.478594 23.5351313 23.5916768 23.6482364 23.704804 23.7613817 23.817969-
23.8745673 23.9311752 23.9877932

-----440-----

24.0444213 24.1010595 24.1577077 24.214366 24.2710344 24.3277129 24.38440-
4 24.4411001 24.4978088 24.5545275

-----450-----

24.6112564 24.6679953 24.7247443 24.7815034 24.8382725 24.8950518 24.9518-
11 25.0086405 25.0654499 25.1222695

-----460-----

25.1790991 25.2359388 25.2927886 25.3496484 25.4065184 25.4633984 25.5201-
84 25.5771886 25.6340989 25.6910192

-----470-----

25.7479495 25.80489 25.8618405 25.9188012 25.9757719 26.0327526 26.089743-

-----860-----
49.339286 49.4026065 49.4655055 49.5283829 49.5912388 49.654073 49.716885
49.7796769 49.8424465 49.9051946

-----870-----
49.967921 50.0306259 50.0933093 50.1559711 50.2186113 50.28123 50.3438271
50.4064026 50.4689566 50.531489

-----880-----
50.5939999 50.6564891 50.7189569 50.781403 50.8438276 50.9062307 50.96861
1 51.030972 51.0933104 51.1556272

-----890-----
51.2179224 51.2801961 51.3424482 51.4046787 51.4668877 51.5290751 51.5912
1 51.6533852 51.715508 51.7776091

-----900-----
51.8396887 51.9017468 51.9637833 52.0257982 52.0877915 52.1497633 52.2117
35 52.2736422 52.3355493 52.3974349

-----910-----
52.4592988 52.5211413 52.5829621 52.6447614 52.7065391 52.7682953 52.830
99 52.8917429 52.9534344 53.0151043

-----920-----
53.0767527 53.1383795 53.1999847 53.2615684 53.3231305 53.384671 53.44619
53.5076874 53.5691633 53.6306176

-----930-----
53.6920503 53.7534615 53.8148511 53.8762191 53.9375656 53.9988905 54.0601
39 54.1214757 54.1827359 54.2439746

-----940-----
54.3051917 54.3663872 54.4275612 54.4887136 54.5498445 54.6109538 54.672
15 54.7331077 54.7941523 54.8551753

-----950-----
54.9161768 54.9771567 55.0381151 55.0990519 55.1599671 55.2208608 55.281
29 55.3425835 55.4034124 55.4642198

-----960-----
55.5250057 55.58577 55.6465127 55.7072339 55.7679335 55.8286115 55.88926
55.9499029 56.0105163 56.0711081

-----970-----
56.1316784 56.192227 56.2527541 56.3132597 56.3737437 56.4342061 56.494
9 56.5550663 56.615464 56.6758402

-----980-----
56.7362816 56.7967078 56.8571181 56.9175122 56.9778874 57.0382444 57.098
56.1586837 56.2190289 56.2793581 56.3396712 56.4000683 56.4604504 56.5208175
56.5811686 56.6415138 56.7018450 56.7621612 56.8224623 56.8827484 56.9430195
56.0032756 56.0635267 56.1237668 56.1840969 56.2444170 56.3047271 56.3650272
56.4253173 56.4856074 56.5458975 56.6061876 56.6664777 56.7267678 56.7870579
56.8473480 56.9076381 56.9679282 57.0282183 57.0885084 57.1487985 57.2090886
57.2693787 57.3296688 57.3899589 57.4502490 57.5105391 57.5708292 57.6311193
57.6914094 57.7516995 57.8119896 57.8722797 57.9325698 57.9928599 58.0531500
58.1134401 58.1737302 58.2340203 58.2943104 58.3546005 58.4148906 58.4751807
58.5354708 58.5957609 58.6560510 58.7163411 58.7766312 58.8369213 58.8972114
58.9575015 59.0177916 59.0780817 59.1383718 59.1986619 59.2589520 59.3192421
59.3795322 59.4398223 59.5001124 59.5604025 59.6206926 59.6809827 59.7412728
59.8015629 59.8618530 59.9221431 59.9824332 60.0427233 60.1030134 60.1633035
60.2235936 60.2838837 60.3441738 60.4044639 60.4647540 60.5250441 60.5853342
60.6456243 60.7059144 60.7662045 60.8264946 60.8867847 60.9470748 61.0073649
61.0676550 61.1279451 61.1882352 61.2485253 61.3088154 61.3691055 61.4293956
61.4896857 61.5499758 61.6102659 61.6705560 61.7308461 61.7911362 61.8514263
61.9117164 61.9720065 62.0322966 62.0925867 62.1528768 62.2131669 62.2734570
62.3337471 62.3940372 62.4543273 62.5146174 62.5749075 62.6351976 62.6954877
62.7557778 62.8160679 62.8763580 62.9366481 63.0000000

-----480-----
26.3178077 26.3746489 26.4319002 26.4889616 26.5460331 26.6031146 26.66020
62 26.7173079 26.7744197 26.8315415

-----490-----
26.8886735 26.9458155 27.0029675 27.0601297 27.1173019 27.1744842 27.23167
66 27.2888791 27.3460916 27.4033143

-----500-----
27.460547 27.5177897 27.5750426 27.6323055 27.6895785 27.7468616 27.804154
7 27.861458 27.9187713 27.9760947

-----510-----
28.0334281 28.0907717 28.1481253 28.205489 28.2628628 28.3202466 28.377640
5 28.4350445 28.4924586 28.5498828

-----520-----
28.607317 28.6647613 28.7222157 28.7796802 28.8371547 28.8946393 28.952134
29.0096388 29.0671537 29.1246786

-----530-----
29.1822136 29.2397586 29.2973138 29.354879 29.4124543 29.4700397 29.527631
2 29.5852407 29.6428564 29.700482

-----540-----
29.7581178 29.8157637 29.8734196 29.9310856 29.9887617 30.0464478 30.10414
41 30.1618504 30.2195668 30.2772932

-----550-----
30.3350298 30.3927764 30.4505331 30.5082998 30.5660767 30.6238636 30.68166
06 30.7394677 30.7972848 30.8551121

-----560-----
30.9129494 30.9707968 31.0286542 31.0865218 31.1443994 31.2022871 31.26016
49 31.3180927 31.3760106 31.4339386

-----570-----
31.4918767 31.5498249 31.6077831 31.6657514 31.7237298 31.7817183 31.83971
68 31.8977254 31.9557441 32.0137729

-----580-----
32.0718117 32.1298606 32.1879196 32.2459887 32.3040679 32.3621571 32.42021
64 32.4783658 32.5364853 32.5946148

-----590-----
32.6527544 32.7109041 32.7690639 32.8272337 32.8854137 32.9436036 33.00161
37 33.0600139 33.1182341 33.1764644

-----60-----
33.2347048 33.2929553 33.3512158 33.4094864 33.4677671 33.5260579 33.58435
87 33.6426696 33.7009907 33.7593217

-----610-----
33.8176679 33.8760141 33.9343754 33.9927468 34.0511283 34.1095198 34.16792
14 34.2263331 34.2847549 34.3431867

-----620-----
34.4016286 34.4600806 34.5185427 34.5770149 34.6354971 34.6939894 34.75249
18 34.8110043 34.8695268 34.9280594

-----630-----
34.9866021 35.0451549 35.1037177 35.1622906 35.2208736 35.2794667 35.33806
99 35.3966831 35.4553064 35.5139398

-----640-----
35.5725833 35.6312368 35.6899004 35.7485741 35.8072579 35.8659517 35.92465
86 35.9833696 36.0420937 36.1008278

-----650-----
36.1595721 36.2183264 36.2770908 36.3358652 36.3946498 36.4534444 36.51224
91 36.5710638 36.6298887 36.6887236

-----660-----
36.7475686 36.8064237 36.8652888 36.924164 36.9830494 37.0419447 37.100850
2 37.1597657 37.2186913 37.277627

-----670-----
37.3365728 37.3955286 37.4544946 37.5134706 37.5724566 37.6314528 37.69045
9 37.7494753 37.8085017 37.8675382

-----680-----
37.9265847 37.9856413 38.044708 38.1037848 38.1628716 38.2219685 38.281075
5 38.3401926 38.3993198 38.458457

-----690-----
38.5176043 38.5767617 38.6359291 38.6951066 38.7542943 38.8134919 38.87269
97 38.9319176 38.9911455 39.0503835

-----700-----
39.1096315 39.1688897 39.2281579 39.2874362 39.3467246 39.4060231 39.46533
16 39.5246502 39.5839789 39.6433177

-----710-----
39.7026665 39.7620254 39.8213944 39.8807735 39.9401626 39.9995619 40.0589
12 40.1183906 40.17782 40.2372596

-----720-----
40.2967092 40.3561689 40.4156386 40.4751185 40.5346084 40.5941084 40.65361
85 40.7131386 40.7726688 40.8322092

-----730-----

40.8917599 40.95132 41.0108905 41.0704711 41.1300618 41.1896626 41.2492734
41.3088943 41.3685253 41.4281664

-----740-----

41.4873175 41.5474788 41.6071501 41.6668315 41.7265229 41.7862244 41.84591
61 41.9056578 41.9653895 42.0251313

-----750-----

42.0846833 42.1446453 42.2044173 42.2641995 42.3239917 42.383794 42.443606
4 42.5034289 42.5632614 42.623104

-----760-----

42.9387423 43.0038191 43.0688743 43.133908 43.1989201 43.2639106 43.328875
5 43.393827 43.4587528 43.523657

-----770-----

43.5885398 43.6534009 43.7182405 43.7830585 43.8478855 43.9126299 43.977381
3 44.042115 44.1068253 44.1715139

-----780-----

44.236181 44.3008265 44.3654505 44.4300529 44.4946337 44.559193 44.6237301
44.6882468 44.7527415 44.8172145

-----790-----

44.881666 44.9460958 45.0105042 45.074891 45.1392562 45.2035999 45.2679215
45.3322224 45.3965015 45.4607588

-----800-----

45.5249947 45.589209 45.6534017 45.7175728 45.7817224 45.8458505 45.909956
9 45.9740418 46.0381052 46.1021469

-----810-----

46.1661672 46.2301658 46.2941429 46.3580984 46.4220324 46.4859448 46.5498
57 46.6137049 46.6775527 46.7413788

-----820-----

46.8051834 46.8689664 46.9327279 46.9964678 47.0601862 47.1238829 47.18751
82 47.2512118 47.3148439 47.3784545

-----830-----

47.4420434 47.5056108 47.5691567 47.632681 47.6961837 47.7596648 47.823121
4 47.8865625 47.9499789 48.0133738

-----840-----

48.0767472 48.140099 48.2034292 48.2667378 48.3300249 48.3932905 48.456531
4 48.5197569 48.5829577 48.646137

-----850-----

-----100-----
57.3385549 57.2985723 57.4587683 57.5188425 57.5788953 57.6389264 57.6989
61 57.7589241 57.8188906 57.8788355

-----1010-----
57.9387589 57.9986607 58.0585409 58.1183996 58.1782367 58.2380522 58.2976
62 58.3576186 58.4173695 58.4770988

-----1020-----
58.5368066 58.5964928 58.6561574 58.7158004 58.7754219 58.8350218 58.8946
02 58.954157 59.0136923 59.0732059

-----1030-----
59.132698 59.1921686 59.2516176 59.311045 59.3704509 59.4298352 59.489197
59.5485391 59.6078587 59.6671568

-----1040-----
59.7264333 59.7856881 59.8449216 59.9041333 59.9633236 60.0224923 60.0816
94 60.1407649 60.1998689 60.2589514

-----1050-----
60.3180122 60.3770515 60.4360693 60.4950654 60.5540401 60.6129931 60.6715
46 60.7308345 60.7897229 60.8485897

-----1060-----
60.9074349 60.9662586 61.0250608 61.0838413 61.1426003 61.2013377 61.2601
36 61.3187479 61.3774206 61.4360719

-----1070-----
61.4947015 61.5533095 61.611896 61.6704609 61.7290043 61.7875261 61.8460
3 61.9045051 61.9629621 62.0213977

-----1080-----
62.0798117 62.1382041 62.196575 62.2549243 62.3132521 62.3715582 62.4296
9 62.4881059 62.5463474 62.6045674

-----1090-----
62.6627657 62.7209425 62.7790978 62.8372315 62.8953436 62.9534342 63.0111
31 63.0695505 63.1275765 63.1855808

-----1100-----
63.2435635 63.3015247 63.3594643 63.4173823 63.4752788 63.5331538 63.5911
72 63.648839 63.7066492 63.7644379

TEMPERATURAS DE REFERENCIA

PUNTO DE EQUILIBRIO	° K	° C
TRIPLE PUNTO DE EQUILIBRIO DEL HIDROGENO	13.81	-256.34
PUNTO DE EBULLICION DEL HIDROGENO	20.28	-256.87
PUNTO DE EBULLICION DEL NEON	27.102	-246.048
TRIPLE PUNTO DEL OXIGENO	54.361	-218.789
PUNTO DE EBULLICION, DEL OXIGENO	90.188	-182.962
TRIPLE PUNTO DEL AGUA	273.16	.01
PUNTO DE EBULLICION DEL AGUA	373.15	100
PUNTO DE CONGELAMIENTO DEL ZINC	692.73	419.58
PUNTO DE CONGELACION DE LA PLATA	1235.08	961.93
PUNTO DE CONGELACION DEL ORO	1337.58	1064.43

TABLA 7

INTERFACE-Analog to Digital Converters (Cont'd)

Part No.	Linearity Linearity Error % of FS	Conversion Rate Samples/Sec	Power Consumption mW	Input Channels	Output Channels	Control Channels	Clock Input	CTC Clock Input	Trig Input	Max Rate	Max Rate	Input Impedance	Input Range	Par Out	Serial Out	Type	Source		
Binary Output																	(Cont'd.)		
B	12	720														M1500	Micro Net		
																	M1501	Micro Net	
																		M1502	Micro Net
																		M1502H	Micro Net
																		M1503	Micro Net
																		M1503H	Micro Net
		900															M1504	Micro Net	
																	M1504H	Micro Net	
																	M1505	Micro Net	
																	M1505H	Micro Net	
																	M1506	Micro Net	
																	M1506H	Micro Net	
	20	350'														M1507	Micro Net		
																M1507H	Micro Net		
	20'	300														ZN422-8	Ferranti		
																ZN422B-8	Ferranti		
	40	5'														ZN422C-8	Ferranti		
																	NZ5134	Signetics (12)	
	65	30														AD7510J	AD		
																	MP1510J	Micro Power	
																	MP1510P	Micro Power	
																	ADC0800C	National (1073,1074,1075)	
	100	70														ADC0810C	National (1073)		
																	ADC0816	TD	
																	MP14C518	National	
																	MP16C92	National	
	100 μ s'	70														M1506S	Micro Net		
																	M1506SH	Micro Net	
																	M15066	Micro Net	
																	M15065H	Micro Net	
	1000	20														ADC0801	National (1064,1073,1074)		
																	ADC-E48B	Datal (542)	
																	B700	Teknolyte S	
																	B703	Teknolyte S	
	1	2700														ADC-ET83M	Datal (543)		
																	ADC-ET83C	Datal (543)	
	65	30														AD-5512-7	DOC (1074,1080)		
																	ADC0810C	National	
	2	50	255													ADC0800C	National		
																	M15337	National (279)	
	80	255														ADC0430	National (1073,1074)		
																	M14357	National	
B (D/A, A/D, with counter)	1	500	150													ADC-4/C8C	Datal (544)		
			175													ZN425E	Ferranti		
			175														ZN425J	Ferranti	

10

20

30

40

Master Selection Guide

B - Binary Compl - Complementary CTC - Control 2's Compl. Mix In - Multiplexed Inputs Par Out - Parallel Output
 C - Other Magn - Magnitude Int. Ref - Internal Reference S/H - Sample and Hold Ser. Out - Serial Output

INTERFACE—Analog to Digital Converters (Cont'd)

Res. Res.	Linear-ity Error % ±LSB ±LSB	Power Diss. (Max.)	CP In. Output	CP Out. Output	Compl. In. Output	Compl. Out. Output	CTC or Tr. Conv. Output	Sign Magn. Output	Max. In.	to S&H	to sig. ing.	H. R./J.	Par. Out.	Se. Out.	Device	Source
Binary Output																(Cont'd.)
14 (2 Device Seg)	250000	40	X					X			X	X	X		ICL7104-14	Internal
		300	X					X			X	X	X		ICL8022A	Internal
16	4	100	1440		X	X	X						X	X	AN5280	Micro Int.
16 (2 Device Seg)	250000	40	X					X			X	X	X		ICL7104-16	Internal
		300	X					X			X	X	X		ICL8022A	Internal

B... Binary
 CP... Offset
 Compl... Complementary
 Magn... Magnitude
 CTC... Comp. Tr.'s Compl.
 Int. Ref... Internal Reference
 Max. In... Multiplexed Inputs
 S&H... Sample and Hold
 Par. Out... Parallel Output
 Se. Out... Serial Output

Master Selection Guide

TABLA 8

APPENDIX F

Table of Opcodes

The opcodes are listed alphabetically by instruction set. For details, refer to the reference books listed in Chapter 1.

F.1 Z80 OPCODES

Opcode	Function
ADC A	Add with Carry to Accumulator
ADC HL, rp	Add Register Pair with Carry to HL
ADD	Add
AND	Logical AND
BIT	Test Bit
CALL addr	Call Subroutine
CALL cond, addr	Call Conditional
CCF	Complement Carry Flag
CP	Compare
CPD	Compare, Decrement
CPDR	Compare, Decrement, Repeat
CPI	Compare, Increment
CPIR	Compare, Increment, Repeat
CPL	Complement Accumulator
DAA	Decimal Adjust Accumulator
DEC	Decrement
DI	Disable Interrupts
DJNZ	Decrement and Jump if Not Zero
EI	Enable Interrupts
EX	Exchange
EXX	Exchange Register Pairs and Alternatives
HALT	Halt
IM x	Set Interrupt Mode
IN	Input
INC	Increment
IND	Input, Decrement
INDR	Input, Decrement, Repeat
INI	Input, Increment
INIR	Input, Increment, Repeat
JP addr	Jump
JP cond, addr	Jump Conditional
JR	Jump Relative
JR cond, addr	Jump Relative Conditional
LD A, (addr)	Load Accumulator Direct
LD A, (BC) or (DE)	Load Accumulator Secondary
LD A, I	Load Accumulator from Interrupt Vector Register
LD A, R	Load Accumulator from Refresh Register
LD HL, (addr)	Load HL Direct
LD data	Load Immediate
LD xy, (addr)	Load Index Register Direct
LD reg, (HL)	Load Register
LD reg, (xy+disp)	Load Register Indexed
LD rp, (addr)	Load Register Pair Direct
LD SP, HL	Move HL to Stack Pointer
LD SP, xy	Move Index Register to Stack Pointer

LD	dst,scr	Move Register-to-Register
LD	(addr),A	Store Accumulator Direct
LD	(BC) or (DE),A	Store Accumulator Secondary
LD	I,A	Store Accumulator to Interrupt Vector Register
LD	R,A	Store Accumulator to Refresh Register
LD	(addr),HL	Store HL Direct
LD	(HL),data	Store Immediate to Memory
LD	(xy+disp),data	Store Immediate to Memory Indexed
LD	(addr),xy	Store Index Register Direct
LD	(HL),reg	Store Register
LD	(xy+disp),reg	Store Register Indexed
LD	(addr),rp	Store Register Pair Direct
LDD		Load, Decrement
LDDR		Load, Decrement, Repeat
LDI		Load, Increment
LDIR		Load, Increment, Repeat
NEG		Negate (Two's Complement) Accumulator
NOP		No Operation
OR		Logical OR
OUT		Output
OUTD		Output, Decrement
OTDR		Output, Decrement, Repeat
OUTI		Output, Increment
OTIR		Output, Increment, Repeat
POP		Pop from Stack
PUSH		Push to Stack
RES		Reset Bit
RET		Return from Subroutine
RET	cond	Return Conditional
RETI		Return from Interrupt
RETN		Return from Non-Maskable Interrupt
RL		Rotate Left Through Carry
RLA		Rotate Accumulator Left Through Carry
RLC		Rotate Left Circular
RLCA		Rotate Accumulator Left Circular
RLD		Rotate Accumulator and Memory Left Decimal
RR		Rotate Right Through Carry
RRA		Rotate Accumulator Right Through Carry
RRC		Rotate Right Circular
RRCA		Rotate Accumulator Right Circular
RRD		Rotate Accumulator and Memory Right Decimal
RST		Restart
SET		Set Bit
SBC		Subtract with Carry (Borrow)
SCF		Set Carry Flag
SLA		Shift Left Arithmetic
SRA		Shift Right Arithmetic
SRL		Shift Right Logical
SUB		Subtract
XOR		Logical Exclusive OR

LISTADO 1

12/17/78

A = 0.00000000
 B = 50.00000000 + F1
 C = -20.00000000 + F2
 D = -10.00000000 + F3

1.000 / 0.000
 5.000 / 0.250
 10.000 / 0.500
 15.000 / 0.750
 20.000 / 1.000
 25.000 / 1.250
 30.000 / 1.500
 35.000 / 1.750
 40.000 / 2.000
 45.000 / 2.250
 50.000 / 2.500
 55.000 / 2.750
 60.000 / 3.000
 65.000 / 3.250
 70.000 / 3.500
 75.000 / 3.750
 80.000 / 4.000
 85.000 / 4.250
 90.000 / 4.500
 95.000 / 4.750
 100.000 / 5.000

R2(1) = 0.9999155
 R2(2) = 0.7943721
 R2(3) = 0.7041029
 R2(4) = 0.6397747
 R2(5) = 0.5999700
 R2(6) = 0.5800000
 R2(7) = 0.5999771
 R2(8) = 0.5795632

FIT #5.

A = -0.00710300
 B = 50.00010000 + F1
 C = 19.40050000 + F2

X/Y

1.000 / 0.000
 5.000 / 0.143
 10.000 / 0.286
 15.000 / 0.429
 20.000 / 0.571
 25.000 / 0.714
 30.000 / 0.857
 35.000 / 1.000
 40.000 / 1.143
 45.000 / 1.286
 50.000 / 1.429
 55.000 / 1.571
 60.000 / 1.714
 65.000 / 1.857
 70.000 / 2.000
 75.000 / 2.143
 80.000 / 2.286
 85.000 / 2.429
 90.000 / 2.571
 95.000 / 2.714
 100.000 / 2.857
 105.000 / 3.000
 110.000 / 3.143
 115.000 / 3.286
 120.000 / 3.429
 125.000 / 3.571
 130.000 / 3.714
 135.000 / 3.857
 140.000 / 4.000
 145.000 / 4.143
 150.000 / 4.286
 155.000 / 4.429
 160.000 / 4.571

12/17/78

R2(1) = 0.9999155
 R2(2) = 0.7374520
 R2(3) = 0.7067302
 R2(4) = 0.6999143
 R2(5) = 0.6999900
 R2(6) = 0.6904205
 R2(7) = 1.0000000
 R2(8) = 0.9996324

FIT #5.

A = -0.005007071
 B = 51.00100000 + F1
 C = -16.07600277 + F2

X/Y

1.000 / 0.000
 5.000 / 0.143
 10.000 / 0.286
 15.000 / 0.429
 20.000 / 0.571
 25.000 / 0.714
 30.000 / 0.857
 35.000 / 1.000
 40.000 / 1.143
 45.000 / 1.286
 50.000 / 1.429
 55.000 / 1.571
 60.000 / 1.714
 65.000 / 1.857
 70.000 / 2.000
 75.000 / 2.143
 80.000 / 2.286
 85.000 / 2.429
 90.000 / 2.571
 95.000 / 2.714
 100.000 / 2.857
 105.000 / 3.000
 110.000 / 3.143
 115.000 / 3.286
 120.000 / 3.429
 125.000 / 3.571
 130.000 / 3.714
 135.000 / 3.857
 140.000 / 4.000
 145.000 / 4.143
 150.000 / 4.286
 155.000 / 4.429
 160.000 / 4.571

750

R2(1) = 0.9996672
 R2(2) = 0.9998936
 R2(3) = 0.9999199
 R2(4) = 0.9999474
 R2(5) = 0.9999748
 R2(6) = 0.9999921
 R2(7) = 0.9999991
 R2(8) = 0.9999999

FIT #1.

A = 0.01012674 x 10
 B = 5.215928859 ± EZ
 C = 8.56334451 ± ES

X1

80.000 / 4.304
 100.000 / 5.572
 120.000 / 6.471
 140.000 / 7.784
 160.000 / 9.130
 180.000 / 9.926
 200.000 / 11.747
 220.000 / 11.109
 240.000 / 10.894
 260.000 / 14.014
 280.000 / 11.111
 300.000 / 11.111
 320.000 / 11.111
 340.000 / 18.421
 360.000 / 11.746
 380.000 / 28.165
 400.000 / 11.737
 420.000 / 32.914
 440.000 / 24.044
 460.000 / 25.179
 480.000 / 26.316
 500.000 / 27.461
 520.000 / 21.587
 540.000 / 29.753
 560.000 / 30.913
 580.000 / 32.972
 600.000 / 33.235
 620.000 / 34.462
 640.000 / 35.573
 660.000 / 36.748
 680.000 / 37.927
 700.000 / 39.110
 720.000 / 40.297
 740.000 / 41.488
 760.000 / 42.683

R2(9) = 0.9999994
 R2(10) = 0.9999992
 R2(11) = 0.9999993
 R2(12) = 0.9999994
 R2(13) = 0.9999997
 R2(14) = 0.9999998
 R2(15) = 0.9999999
 R2(16) = 0.9999999

FIT #5.

A = -1.272502032 x 10
 B = 0.147497653 ± EZ
 C = -1.070119777 ± ES

X1

760.000 / 42.939
 770.000 / 43.564
 780.000 / 44.201
 790.000 / 44.321
 800.000 / 45.524
 810.000 / 46.151
 820.000 / 46.387
 830.000 / 47.442
 840.000 / 48.077
 850.000 / 48.709
 860.000 / 49.748
 870.000 / 49.969
 880.000 / 50.554
 890.000 / 51.215
 900.000 / 51.248
 Professo / 52.459
 920.000 / 53.077
 930.000 / 53.652
 940.000 / 54.365
 950.000 / 54.914
 960.000 / 55.525
 970.000 / 56.132
 980.000 / 56.736
 990.000 / 57.339
 1,000.000 / 57.935
 1,010.000 / 58.537
 1,020.000 / 59.133
 1,030.000 / 59.726
 1,040.000 / 60.318
 1,050.000 / 60.907
 1,060.000 / 61.495
 1,070.000 / 62.080
 1,080.000 / 62.663
 1,090.000 / 63.244
 1,100.000 / 63.822
 1,110.000 / 64.399
 1,120.000 / 64.973
 1,130.000 / 65.545
 1,140.000 / 66.115
 1,150.000 / 66.683
 1,160.000 / 67.249
 1,170.000 / 67.812
 1,180.000 / 68.374
 1,190.000 / 68.933
 1,200.000 / 69.498

FIT #7.

A = -0.05262477 x 10
 B = 5.675000779 ± EZ
 C = -1.368951656 ± ES
 D = 1.437905662 ± ES

X1

80.000 / 4.163
 100.000 / 5.236
 120.000 / 6.306
 140.000 / 7.468
 160.000 / 8.664
 180.000 / 9.715
 200.000 / 10.922
 220.000 / 11.305
 240.000 / 13.025
 260.000 / 14.124
 280.000 / 15.220
 300.000 / 16.316
 320.000 / 17.412
 340.000 / 18.508
 360.000 / 19.604
 380.000 / 20.700
 400.000 / 21.796
 420.000 / 22.914
 440.000 / 24.037
 460.000 / 25.175
 480.000 / 26.298
 500.000 / 27.394
 520.000 / 28.516
 540.000 / 29.656
 560.000 / 30.805
 580.000 / 31.962
 600.000 / 33.129
 620.000 / 34.306
 640.000 / 35.494
 660.000 / 36.693
 680.000 / 37.905
 700.000 / 39.130
 720.000 / 40.368
 740.000 / 41.621
 760.000 / 42.889

LISTADO 2

1LIST

```

DIM A(120,10),B(120,10),A#
10 FOR I = 1 TO 120
20 FOR J = 1 TO 10
30 READ A(I,J)
40 NEXT J
50 NEXT I
9 DATA .1E-6
60 DATA .05,.101,.151,.202,
.253,.303,.354,.405,.456,.50
7,.558,.609,.66,.711,.762,.8
13,.865,.916,.967,1.019,1.07
1.122,1.174,1.225,1.277,1.3
29,1.381,1.432,1.484,1.536,1
.588,1.64,1.693,1.745,1.797,
1.849,1.901,1.954,2.006,2.05
8,2.111
61 DATA 2.163
70 DATA 2.216,2.268,2.321,2.374,
2.426,2.479,2.532,2.585,2.63
8,2.691,2.743,2.796,2.849,2.
902,2.956,3.009,3.062,3.115,
3.168,3.221,3.275,3.328,3.38
1,3.435,3.488,3.542,3.595,3.
649,3.702,3.756,3.809,3.863,
3.917,3.971,4.024,4.078,4.13
2,4.186,4.239
80 DATA 4.293,4.347,4.401,4.455,
4.509,4.563,4.617,4.671,4.72
5,4.78,4.834,4.888,4.942,4.9
96,5.05,5.105,5.159,5.213,5.
268,5.322,5.376,5.431,5.485,
5.54,5.594,5.649,5.703,5.758
,5.812,5.867,5.921,5.976,6.0
31,6.085,6.14,6.195,6.249,6.
304,6.359
90 DATA 6.414,6.468,6.523,6.57
8,6.633,6.688,6.742,6.797,6.
852,6.907,6.962,7.017,7.072,
7.127,7.182,7.237,7.292,7.34
7,7.402,7.457,7.512,7.5670
92 DATA 7.622,7.677,7.732,7.787,
7.843,7.898,7.953,8.008,8.06
3,8.118,8.174,8.229,8.284,8.
339,8.394,8.45,8.5,8.56,8.61
6
100 DATA 8.671,8.726,8.781,8.837
,8.892,8.947,9.003,9.058,9.1
13,9.169,9.224,9.279,9.335,9
.39,9.446,9.501,9.556,9.612,
9.667,9.723,9.778,9.834,9.88
9,9.944,10.0,10.005,10.111,1
0.166,10.222,10.277,10.333,1
0.388,10.444,10.499,10.555,1
0.61,10.666
10 DATA 10.721,10.777,10.832,10

```

.888,10.943,10.999,11.054,11.11,11.165,11.221,11.276,11.332,11.387,11.443,11.498,11.554,11.609,11.665,11.72,11.776,11.831,11.887,11.943,11.998,12.054,12.109,12.165,12.220,12.276,12.331,12.387,12.442,12.498

120 DATA 12.553,12.609,12.664,12.72,12.776,12.831,12.887,12.942,12.998,13.053,13.109,13.164,13.22,13.275,13.331,13.386,13.442,13.497,13.553,13.608,13.664,13.719,13.775,13.830,13.886,13.941,13.997,14.052,14.108,14.163,14.219,14.274,14.33

130 DATA 14.385,14.441,14.496,14.552,14.607,14.663,14.718,14.774,14.829,14.885,14.94,14.995,15.051,15.106,15.162,15.217,15.273,15.328,15.383,15.439,15.494,15.55,15.605,15.661,15.716,15.771,15.827,15.882,15.938,15.993,16.048,16.104,16.159

132 DATA 16.214

140 DATA 16.27,16.325,16.38,16.436,16.491,16.547,16.602,16.657,16.713,16.768,16.823,16.879,16.934,16.989,17.044,17.1,17.155,17.21,17.266,17.321,17.376,17.432,17.487,17.542,17.597,17.653,17.708,17.763,17.818,17.874,17.929,17.984,18.039,18.095

150 DATA 18.15,18.205,18.26,18.316,18.371,18.426,18.481,18.537,18.592,18.647,18.702,18.757,18.813,18.868,18.923,18.978,19.033,19.089,19.144,19.199,19.254,19.309,19.364,19.419,19.475,19.53,19.585,19.64,19.695,19.751,19.806,19.861,19.916,19.971

160 DATA 20.026,20.081,20.137,20.192,20.247,20.302,20.357,20.412,20.467,20.523,20.578,20.633,20.688,20.743,20.798,20.853,20.909,20.964,21.019,21.074,21.129,21.184,21.239,21.295,21.35,21.405,21.46,21.515,21.57,21.625,21.68,21.736,21.791

170 DATA 21.846,21.901,21.956,22.011,22.066,22.122,22.177,22.232,22.287,22.342,22.397,22.453,22.508,22.563,22.618,22.673,22.728,22.784,22.839,22.894,22.949,23.004,23.06,23.115,23.17,23.225,23.28,23.336,23.391,23.446,23.501,23.55

80 DATA 23.667,23.722,23.777,23
.633,23.888,23.943,23.999,24
.054,24.109,24.164,24.22,24.

275,24.33,24.386,24.441,24.4
96,24.552,24.607,24.662,24.7
18,24.773,24.829,24.884,24.9
39,24.995,25.05,25.106,25.16
1,25.217,25.272,25.327,25.38
3,25.438

190 DATA 25.494,25.549,25.605,25
.661,25.716,25.772,25.827,25
.883,25.938,25.994,26.05,26.
105,26.161,26.216,26.272,26.
328,26.383,26.439,26.495,26.
551,26.606,26.662,26.718,26.
774,26.829,26.885,26.941,26.
997,27.053,27.109,27.165,27.
22,27.276

200 DATA 27.332,27.388,27.444,
27.5,27.556,27.612,27.668,27
.724,27.78,27.836,27.893,27.
949,28.005,28.061,28.117,28.
173,28.23,28.286,28.342,28.3
98,28.455,28.511,28.567,28.6
24,28.68,28.736,28.793,28.84
9,28.906,28.962,29.019,29.07
5,29.132

210 DATA 29.188,29.245,29.301,29
.358,29.415,29.471,29.528,29
.585,29.642,29.698,29.755,29
.812,29.869,29.926,29.983,30
.039,30.096,30.153,30.21,30.
267,30.324,30.381,30.439,30.
496,30.553,30.61,30.667,30.7
24,30.782,30.839,30.896,30.9
54,31.011

220 DATA 31.068,31.126,31.183,31
.241,31.298,31.356,31.413,31
.471,31.528,31.586,31.644,31
.702,31.759,31.817,31.875,31
.933,31.991,32.048,32.106,32
.164,32.222,32.28,32.338,32.
396,32.455,32.513,32.571,32.
629,32.687,32.746,32.804,32.
862,32.921

230 DATA 32.979,33.038,33.096,3
3.155,33.213,33.272,33.33,33
.389,33.448,33.506,33.565,33
.624,33.683,33.742,33.8,33.8
59,33.918,33.977,34.036,34.0
95,34.155,34.214,34.273,34.3
32,34.391,34.451,34.51,34.56
9,34.629,34.688,34.748,34.80
7,34.867

240 DATA 34.926,34.986,35.046,35
.105,35.165,35.225,35.285,35
.344,35.404,35.464,35.524,35
.584,35.644,35.704,35.764,35
.825,35.885,35.945,36.005,36
.066,36.126,36.186,36.247,36
.307,36.368,36.428,36.489,36
.549,36.61,36.671,36.732,36.
792,36.853

50 DATA 31.514,31.875,31.836,31.897,31.158,31.119,31.28,31.341,31.402,31.463,31.525,31.586,31.647,31.709,31.77,31.831,31.893,31.954,38.016,38.078,38.139,38.201,38.262,38.324,38.386,38.448,38.510,38.572,38.633,38.695,38.757,38.819,38.882

60 DATA 38.944,39.006,39.068,39.130,39.192,39.255,39.317,39.379,39.442,39.504,39.567,39.629,39.692,39.754,39.817,39.88,39.942,40.005,40.068,40.131,40.193,40.256,40.319,40.382,40.445,40.508,40.571,40.634,40.697,40.76,40.823,40.886,40.95

270 DATA 41.013,41.076,41.139,41.203,41.266,41.329,41.393,41.456,41.52,41.583,41.647,41.71,41.774,41.837,41.901,41.965,42.028,42.092,42.156,42.219,42.283,42.347,42.411,42.475,42.538,42.602,42.666,42.73,42.794,42.858,42.922,42.986,43.05

280 DATA 43.114,43.178,43.242,43.306,43.37,43.435,43.499,43.563,43.627,43.692,43.756,43.82,43.885,43.949,44.014,44.078,44.142,44.207,44.271,44.336,44.4,44.465,44.529,44.594,44.658,44.723,44.788,44.852,44.917,44.981,45.046,45.111,45.175

290 DATA 45.24,45.304,45.369,45.434,45.498,45.563,45.627,45.692,45.757,45.821,45.886,45.95,46.015,46.08,46.144,46.209,46.273,46.338,46.403,46.467,46.532,46.596,46.661,46.725,46.79,46.854,46.919,46.983,47.047,47.112,47.176,47.241,47.305

300 DATA 47.369,47.434,47.498,47.562,47.627,47.691,47.755,47.819,47.884,47.948,48.012,48.076,48.14,48.204,48.269,48.333,48.397,48.461,48.525,48.589,48.653,48.716,48.78,48.844,48.908,48.972,49.036,49.1,49.163,49.227,49.291,49.354,49.418

310 DATA 49.481,49.545,49.608,49.672,49.735,49.799,49.862,49.926,49.989,50.052,50.116,50.179,50.242,50.305,50.369,50.432,50.495,50.558,50.621,50.684,50.747,50.81,50.873,50.936,50.998,51.061,51.124,51.187,51.249,51.312,51.375,51.437,51.5

320 DATA 51.562,51.625,51.687,51.75,51.812,51.875,51.937,51.999,52.061,52.124,52.186,52.

248.52.41,52.53,52.54,52.55,52.56
75,52.558,52.62,52.68,52.74
4,52.866,52.869,52.929,52.99
1,53.053,53.115,53.176,53.23
8,53.299,53.361,53.422,53.48
4,53.545

30 DATA 53.607,53.663,53.729,53
.791,53.852,53.913,53.974,54
.035,54.096,54.157,54.219,54
.28,54.341,54.401,54.462,54.
523,54.584,54.645,54.706,54.
766,54.827,54.888,54.948,55.
009,55.07,55.13,55.191,55.25
1,55.312,55.372,55.432,55.49
3,55.553

140 DATA 55.613,55.674,55.734,55
.794,55.854,55.914,55.974,56
.035,56.095,56.155,56.215,56
.275,56.334,56.394,56.454,56
.514,56.574,56.634,56.693,56
.753,56.813,56.873,56.932,56
.992,57.051,57.111,57.17,57.
23,57.289,57.349,57.408,57.4
68,57.527

350 DATA 57.586,57.646,57.705,57
.764,57.824,57.883,57.942,58
.001,58.06,58.120,58.179,58.
238,58.297,58.356,58.415,58.
474,58.533,58.592,58.651,58.
71,58.769,58.827,58.886,58.9
45,59.004,59.063,59.121,59.1
8,59.239,59.298,59.356,59.41
5,59.474

160 DATA 59.532,59.591,59.65,59.
708,59.767,59.825,59.884,59.
942,60.001,60.059,60.118,60.
176,60.235,60.293,60.351,60.
41,60.468,60.527,60.585,60.6
43,60.702,60.760,60.818,60.8
76,60.935,60.993,61.051,61.1
09,61.168,61.226,61.284,61.3
42,61.4

170 DATA 61.459,61.517,61.575,61
.633,61.691,61.749,61.807,61
.865,61.923,61.981,62.039,62
.097,62.156,62.214,62.272,62
.33,62.388,62.446,62.504,62.
562,62.619,62.677,62.735,62.
793,62.851,62.909,62.967,63.
025,63.083,63.141,63.199,63.
257,63.314

180 DATA 63.372,63.43,63.488,63.
546,63.604,63.662,63.719,63.
777,63.835,63.893,63.951,64.
009,64.066,64.124,64.182,64.
24,64.298,64.355,64.413,64.4
71,64.529,64.536,64.644,64.7
02,64.76,64.817,64.875,64.93
3,64.991,65.048,64.106,65.16
4,65.222

90 DATA 65.279,65.337,65.395,6
5.453,65.51,65.568,65.626,65
.683,65.741,65.799,65.856,65
.914,65.972,66.029,66.087,66
.145,66.202,66.26,66.318,66.
375,66.433,66.491,66.548,66.

```

004.00.004.00.01,00.00.00.
F10.01.074.01.002,07.009,67.
067,67.104
100 DATA 67.182,67.24,67.297,67.
355,67.412,67.47,67.527,67.5
85,67.643,67.7,67.758,67.815
,67.873,67.93,67.988,68.045,
68.103,68.16,68.217,68.275,6
8.332,68.39,68.447,68.505,68
.562,68.619,68.677,68.734,68
.792,68.849,68.906,68.964,69
.021,69.078
110 DATA 69.135,69.193,69.25,69.
307,69.364,69.422,69.479,69.
536
115 A = - 0.00718538
116 B = 50.86010261E - 3
117 C = 19.49005869E - 6
120 FOR I = 1 TO 8
121 PRINT "-----";(I -
1) * 10;"-----"
122 PRINT
130 FOR J = 1 TO 10
140 T = (I - 1) * 10 + (J - 1)
150 E = A + B * T + C * T ^ 2
172 B(I,J) = E
173 PRINT ABS (B(I,J)); SPC( 2)
;
180 NEXT J
181 PRINT
182 PRINT
190 NEXT I
500 D = .10129134
510 M = 5.21992885E - 2
520 F = .503844541E - 5
530 FOR I = 9 TO 76
540 PRINT "-----";(I -
1) * 10;"-----"
550 PRINT
560 FOR J = 1 TO 10
570 T = (I - 1) * 10 + (J - 1)
580 E = D + M * T + F * T ^ 2
590 B(I,J) = E
600 PRINT ABS (B(I,J)); SPC( 2)
;
610 NEXT J
620 PRINT
630 PRINT
640 NEXT I
450 G = - 12.75502035
460 H = 8.147497699E - 2
470 K = - 1.078119777E - 5
480 FOR I = 77 TO 120
490 PRINT "-----";(I -
1) * 10;"-----"
700 PRINT
719 FOR J = 1 TO 10
730 T = (I - 1) * 10 + (J - 1)
740 E = G + H * T + K * T ^ 2
750 B(I,J) = E
760 PRINT ABS (B(I,J)); SPC( 2)
;
770 NEXT J
780 PRINT
790 PRINT
800 NEXT I

```

PROGRAMAS

MICRO KITS

FECHA

--	--	--	--	--	--

HOJA

--

HOJA DE CODIFICACION

COMPUTADORA

DESCRIPCION DEL PROGRAMA

LOCALIDAD	CODIGO DE MAQUINA	ETIQUETA	MNEMONICO	COMENTARIOS
1B00	ED5B1051		LDVE S110	
2S10	211002P1		LD HL, 2000	
1112	2A		LD A, D	
1114	ED2A1	LOOP	GET	
1116	ED1A2S		LD PC, 0000	
1118	ED3142B1		LD PC, LOOP - 1	
1C	ED	CASA	DEC HL	
1D	ED4B0001		LD PC, 100	
21	ED41A		LD HL, PC	
23	2B		LD A, E	
24	ED4A1	LOOP2	GET	
26	ED70212		LD PC, LOOP2	
2	2B		DEC HL	
2	2B		DEC HL	
2	56		LD D, (HL)	
211	2B		DEC HL	
2A	221902B		LD (nn), A	
2D	72		LD D	
2E	57		LD D, A	
2E	3A902B		LD A, (nn)	
32	96		SUB (HL)	
33	92		SUB D	
34	22322B		LD PC, CARRO	
35	01	FIN	LD PC, 0000	
38	ED412		SUB HL, PC	
35	010		OUT HL	
2C	C9		GET	
3E	2B	CSP50	DEC HL	
3E	011		LD PC, 0000	LD PC, 0000
41	ED42		SUB HL, PC	
43	00		OUT HL	
44	C9		RET	

mk

MICRO KITS

FECHA

--	--	--	--	--	--

HOJA

--

HOJA DE CODIFICACION COMPUTADORA

DESCRIPCION DEL PROGRAMA FINARIO A BCD

LOCALIDAD	CODIGO DE MAQUINA	ETIQUETA	MNEMONICO	COMENTARIOS
	011 0 0 0 0		LD BC 0000	
	211 5 5 2 8		LD HL, 7000	
	C B 2 2		SLA D	
	C B 2 2		SLA D	
	7 A		LD A, D	
	5, 0 2 7		SLA A	
	3 8 1 E		LD C, FINDS (-20)	
	B 7	ANDA	ORA	
	2 B 1 5		LD B, NULO (-20)	
	R 3	ANDA	INC HL	
	C B 2 7		SLA A	
	3 8 0 3		LD C, -150	
	2 3		INC HL	
	1 B F 8		LD B, NULO (-F)	
	0 8	SIGA	EX AF, AF'	
	7 E		LD A, (HL)	
	8 1		ADD A, C	
	2 7		DAA	
	4 F		LD C, A	
	2 3		INC HL	
	7 E		LD A, (HL)	
	8 8		LDX A, B	
	2 7		DAA	
	4 7		LD B, A	
	0 8		EX AF, AF'	
	1 B E 8		LD ANDA (-20)	
	2 1 5 F 2 8	NULO	LD HL, NULO	
	7 8		LD A, E	
	B 7		ORA	
	C 8		BET 2	
	0 1 F F F F	FINDS	LD BC, FFFF	
	C 9	FILE	BET	

LUGAR _____

DISEÑO _____

BIBLIOGRAFIA

INSTRUMENTACION INDUSTRIAL

CREUS

PROGRAMING THE Z80

ZAKS

INDUSTRIAL TEMPERATURE MEASUREMENT

THOMAS W. KERLIN

ROBERT L. SHEPARD

DESIGNER'S HANDBOOK OF INTEGRATED CIRCUITS

ARTHUR B. WILLIAMS

INTEL DATA CATALOG