



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE CIENCIAS

APLICACION DE LOS MICROPROCESADORES EN LA
INSTRUMENTACION: TERMOMETRO DIGITAL

T E S I S

Que para obtener el Título de

F I S I C O

P r e s e n t a

PATRICIA GUADALUPE NERI BARRIO



Universidad Nacional
Autónoma de México



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

INTRODUCCION	1
--------------	---

CAPITULO 1

INTRODUCCION	2
TEMPERATURA	2
ESCALAS DE TEMPERATURA	3
TERMOMETROS DE LIQUIDO	6
TERMOMETROS MANOMETRICOS	9
TERMOMETROS DILATOMETRICOS Y BIMETALICOS	11
TERMOMETROS DE RESISTENCIA ELECTRICA	13
TERMISTORES	14
UNIONES PN	16
TERMOPARES	18
PIROMETROS	22
TRANSDUCTOR UTILIZADO	25

CAPITULO 2

INTRODUCCION	26
DIAGRAMA POR UNIDADES FUNCIONALES DEL SISTEMA	27
DESCRIPCION GENERAL DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA	28
DESCRIPCION DE LOS CIRCUITOS ELECTRONICOS DEL SISTEMA	29
DESCRIPCION DE LOS PROGRAMAS DEL SISTEMA	34
DIAGRAMA COMPLETO DEL SISTEMA	50

CAPITULO 3

RESULTADOS Y CONCLUSIONES	51
---------------------------	----

APENDICES

GLOSARIO

BIBLIOGRAFIA

INTRODUCCION

Debido a la importancia que los microprocesadores han adquirido en el presente en Instrumentación y áreas afines; como consecuencia de su versatilidad, facilidad de implementación y bajo costo, se ha pensado que en México es fundamental desarrollar esta técnica. Es por esta razón, que el trabajo que en esta Tesis se desarrolla pretende con esa actitud diseñar y construir un Sistema de Adquisición de Datos, con un fin específico.

En el Laboratorio de Materiales Cerámicos y Metalúrgicos del I.I.M. de la UNAM, se requiere para el monitoreo de muestras de materiales un Sistema sensor de temperatura con características específicas (intervalo de medición 0-700 °C). El trabajo desarrollado cubre este objetivo, además de lograr la versatilidad de un Sistema General de Adquisición de Datos, el cual con algunas modificaciones de Programación puede ser empleado para otro tipo de experimentos análogos. Este Sistema es versátil, ya que por Programa puede modificarse el intervalo de medición.

Como transductor se utiliza un termopar Chromel-Alumel.

El intervalo de medición de este Sistema es de 0-700°C y su exactitud es de 1.7°C.

En el primer capítulo se describen los tipos de termómetros que existen y sus principales características, así como las escalas de temperatura que se utilizan.

En el capítulo dos, se describen tanto los circuitos electrónicos que componen el Sistema, como el conjunto de programas desarrollados para esta aplicación.

En el capítulo tres, se indica la evaluación realizada al Sistema y algunas características del mismo. Se hacen algunos comentarios y sugerencias que se consideran de interés.

CAPITULO 1

En este capítulo se describen los principales termómetros que existen, su intervalo de medición y algunas otras de sus características.

INTRODUCCION

La temperatura es un parámetro muy importante en procesos científicos y tecnológicos. Muchos de los instrumentos empleados para su medición utilizan el hecho de que algunas sustancias modifican sus características al cambiar su temperatura, estas sustancias son llamadas, por tal motivo, sustancias termométricas. También utilizan las variaciones de las propiedades termométricas de los cuerpos al cambiar su temperatura, como es el caso de los Pirómetros.

No puede decirse que exista un termómetro universal, pero sí que alguno es mejor que otros para determinado proceso o intervalo de temperatura. En este capítulo se describen los principales termómetros que existen, su intervalo de medición y algunas otras de sus características.

TEMPERATURA

El concepto de temperatura se ha manejado intuitivamente desde la niñez, sin embargo, es necesario contar con definiciones formales. Tal concepto ha evolucionado con el desarrollo de la Ciencia y la Tecnología.

Una primera formalización se hace a través de la Ley Cero de la Termodinámica que dice: "Dos sistemas en equilibrio térmico con un tercero están en equilibrio térmico entre sí" [20], la temperatura es una propiedad que indica si un Sistema está en equilibrio térmico con otro [21].

"La temperatura puede ser definida como el parámetro del estado térmico. Su valor depende de la energía cinética media

del movimiento de translación de las moléculas de un cuerpo dado". [12]

El concepto estadístico de temperatura, como el módulo de la distribución de equilibrio de un gran número de partículas sobre diferentes estados de energía, fue desarrollado por Gibbs en 1902.

En 1951, se introdujeron las temperaturas negativas Kelvin. Las temperaturas negativas Kelvin son más calientes que las positivas Kelvin, o sea, el flujo de calor es de las regiones con temperaturas negativas a las regiones con temperaturas positivas.

Uno de los métodos empleados para la determinación indirecta de la temperatura en plasmas, es infiriendo ésta a través de mediciones de la densidad de electrones o iones en el mismo.

ESCALAS DE TEMPERATURA

Para medir temperatura, además de un termómetro, se necesita una escala.

La escala de la temperatura termodinámica se define a partir de la eficiencia máxima ideal de una máquina térmica que funciona según el Ciclo de Carnot. La eficiencia máxima es:

$$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

donde T_1 (T_2) es la temperatura inferior (superior) de operación de la máquina; independientemente de las sustancias que componen la máquina.

La temperatura termodinámica coincide con la temperatura definida para el gas ideal, según la relación $PV=nRT$, donde P es la presión ejercida por el gas, V el volumen que ocupa el gas, n el número de moles del gas, R la constante universal de los gases.

Experimentalmente se ha obtenido la gráfica siguiente, donde por extrapolación se obtiene el valor RT .

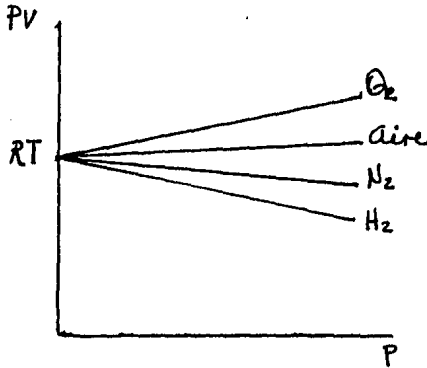


Fig. I-1

En la escala Kelvin, al punto triple del agua se le asigna convencionalmente el valor $T = 273.16 \text{ }^\circ\text{K}$ y la unidad en esta escala es de la misma magnitud que en la Centígrada o Celsius, sólo que en ésta última al punto triple del agua se le asigna $T = 0.01 \text{ }^\circ\text{C}$. Por lo que se tiene

$$T(^{\circ}\text{C}) = T(^{\circ}\text{K}) - 273.15$$

La escala Fahrenheit le asigna al punto de congelación de una mezcla de agua y sal el número $32 \text{ }^\circ\text{F}$ y al de ebullición del agua, le asigna $212 \text{ }^\circ\text{F}$. Las relaciones entre las escalas mencionadas anteriormente son:

$$T(^{\circ}\text{F}) = \frac{9}{5} T(^{\circ}\text{C}) + 32$$

$$T(^{\circ}\text{F}) = \frac{9}{5} T(^{\circ}\text{K}) - 459.67$$

En la Séptima Conferencia General sobre Pesas y Medidas, celebrada en 1927, se adoptó una Escala Práctica Internacional de Temperatura (IPTS), no para remplazar las escalas Celsius o de gas ideal, sino para establecer una escala que diera, tan cercana como fuese posible, temperaturas termodinámicas. En 1948, en 1960 y en 1968 se le hicieron ligeros refinamientos a esta escala. Las escalas IPTS y la Cél-

sus difieren muy poco entre sí, de tal manera que en el trabajo práctico dicha diferencia no es importante.

"La escala termométrica práctica internacional de 1968 se estableció para temperaturas de 13.81 a 6300 °K. La misma se basa en varios estados de equilibrio reproducibles, a los que han atribuido valores exactos de temperaturas, o sea, puntos de referencia (constantes) principales, así como en instrumentos patrones graduados según estas temperaturas. En los intervalos comprendidos entre las temperaturas de los puntos constantes se interpola conforme a las fórmulas que establecen la relación entre los índices de los instrumentos patrones y los valores de la temperatura. Los principales puntos de referencia se realizan como determinados estados de equilibrio de fase de algunas sustancias puras". [15]

Puntos de Referencia (Constantes) de la IPTS - 68.

Estado de equilibrio de fase	Valor de la temperatura (°C)
Equilibrio entre las fases sólida, líquida y gaseosa del hidrógeno en equilibrio (punto triple de hidrógeno en equilibrio)	-259,34
Equilibrio entre las fases líquida y gaseosa del hidrógeno en equilibrio bajo una presión de 33 330kPa (250 mm Hg).	-256,108
Equilibrio entre las fases líquida y gaseosa del neón (punto de ebullición del neón).	-246.048
Punto Triple del Oxígeno	-218.789
Punto de Ebullición del Oxígeno	-182,962
Punto triple del agua	0.01
Punto de ebullición del agua	100.0
Punto de solidificación del cinc	419.18
Punto de solidificación de la plata	961.93
Punto de solidificación del oro	1064.43

Para las temperaturas comprendidas entre 13.81 y 903.89 °K (de -259.34 a 630.74 °C), en calidad de instrumento patrón se emplea un termómetro de platino de resistencia. Para la zona de temperaturas inferiores a 0°C, la relación entre la resistencia del termómetro y la temperatura se determina mediante la función normal y ecuaciones especiales para calcular las correcciones de dicha función.

Para las temperaturas de 630.74 a 1064.43 °C, en calidad de instrumento patrón se emplea un termómetro termoelectrico con electrodos de platino-rodio y platino.

Para las temperaturas entre 1337.58 °K y 6300 °K (de 1064.43 a 6026.85 °C), la temperatura se determina con arreglo a la Ley de Plank.

TERMOMETROS DE LIQUIDO [12]

Se usan ampliamente en laboratorios e industrias debido a su exactitud, sencillez y bajo costo.

Su intervalo de medición está comprendido entre -200 y +750 °C.

El principio de trabajo de los termómetros de líquido se basa en la dilatación térmica de un líquido termométrico encerrado dentro de un recipiente de vidrio y desde luego que en la indicación de estos termómetros se toma en cuenta tanto la variación del volumen del líquido, como la modificación del volumen del recipiente de vidrio.

Según el destino y campo de aplicación, los termómetros de líquido se dividen en los grupos siguientes: patrones y de laboratorio, técnicos, meteorológicos, para uso do

méstico, para la agricultura, etc. Aquí se verán solamente los dos primeros grupos.

Los líquidos más frecuentes son: mercurio, tolueno, alcohol etílico, keroseno, éter de petróleo, pentano, etc.

TABLA I-1

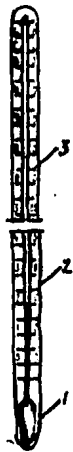
Líquido	Límites posibles de aplicación en °C		Coeficiente medio de dilatación térmica ₁ volumétrica en °K	
	Inferior	Superior	Real	Aparente*
Mercurio	-35	750	0.00018	0.00016
Tolueno	-90	200	0.00109	0.00107
Alcohol Etilico	-80	70	0.00105	0.00103
Keroseno	-60	300	0.00095	0.00093
Eter de Petroleo	-120	25	0.00092	0.00090

*Por coeficiente aparente de dilatación térmica volumétrica, se entiende la diferencia entre el coeficiente de dilatación térmica volumétrica del líquido termométrico y el coeficiente análogo del vidrio.

Algunos líquidos orgánicos mojan el vidrio, debido a lo cual, disminuye la exactitud de las lecturas de sus indicaciones. Es con relación a esto, que los de mercurio son los más ampliamente usados, ya que éste no moja el vidrio, además de que se encuentran relativamente fácil en estado químico puro y a presión atmosférica normal permanece líquido, en un intervalo amplio de temperaturas, de -30 a +356.58 °C. La presión de los valores saturados de mercurio a una temperatura mayor de +356.58 °C no es grande en comparación con la de los vapores saturados de otros líquidos. Eso permite, elevando relativamente poco la presión sobre el mercurio en el tubo capilar, aumentar sensiblemente la temperatura de su ebullición y asimismo ampliar el intervalo de temperatura de aplicación de los termómetros de mercurio. Ver Tabla I-1.

Una desventaja del mercurio es su coeficiente de dilatación relativamente pequeño.

Las estructuras de los termómetros de líquido que se emplean tanto en condiciones de laboratorio como en la industria son diversas, aunque pueden señalarse de dos tipos principales: los termómetros de varilla y los de escala intercalada. La característica principal de los del primer tipo es que tienen un tubo capilar de paredes gruesas, cuyo diámetro exterior de 6 a 8 mm. equivale casi al del recipiente y su escala se traza directamente en la superficie exterior del tubo capilar (Fig. I-2a). Las características principales de los del segundo tipo consisten en que la escala está trazada en una placa rectangular de vidrio opalino colocada detrás del tubo capilar soldado a un recipiente de forma cilíndrica al cual se le suelda una camisa protectora de cristal (Fig. I-2b).



- 1- Recipiente
- 2- Tubo capilar de paredes gruesas
- 3- Escala trazada en superficie exterior del tubo capilar.



- 1- Recipiente
- 2- Tubo capilar
- 3- Escala trazada en placa de vidrio opalino.
- 4- Camisa protectora de vidrio.

Fig I-2a. Termómetro de varilla

Fig I-2b. Termómetro de escala intercalada.

Se fabrican termómetros de gran precisión con escala intercalada. Las principales características técnicas de los

termómetros de mercurio para mediciones precisas se dan a continuación.

Tipo de termómetro	Intervalo en °C	Valor de una división en la escala en °C
TR-1	0 - 60	0.01
TR-2	55 - 155	0.02
TR-3	140 - 300	0.05
TR-4	300 - 500	0.10

Los termómetros técnicos de mercurio miden intervalos entre -30 y 600 °C, y los de líquido orgánico de -90 a +300 °C y de -60 a +200 °C.

Los termómetros técnicos de contactos eléctricos señalan y regulan en circuitos simples la temperatura. Se fabrican con contactos constantes soldados o con un contacto móvil que puede desplazarse dentro de un tubo capilar mediante un dispositivo magnético especial. El circuito eléctrico entre los contactos se abre o cierra con las variaciones de temperatura.

TERMOMETROS MANOMETRICOS [12]

Estos termómetros se basan en la dependencia existente entre la temperatura y la presión de la sustancia de trabajo en un sistema cerrado. De acuerdo a dicha sustancia se clasifican en termómetros de gas, de líquido y de condensación (de vapor y líquido).

Pueden medir temperaturas de líquidos y gases en el intervalo de -150 a +600 °C y los hay especiales que pueden medir entre 100 y 1000 °C.

Se pueden utilizar para medir temperaturas en locales con peligro de explosión.

Se fabrican en dos tipos: indicadores y registradores.

La figura I-3 muestra la estructura de un termómetro manométrico indicador.

También existen termómetros manométricos de contactos eléctricos y señalan los momentos en que sus temperaturas alcanzan valores límites.

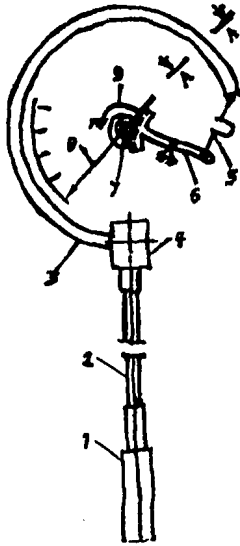


Fig. I-3 Termómetro manométrico indicador

El termómetro manométrico comprende el termobalón 1 que se sumerge en el medio cuya temperatura se mide, el tubo capilar 2 y el muelle manométrico 3. Un extremo de este último se halla soldado al soporte 4 cuyo canal comunica la cavidad interior del muelle manométrico con el termobalón a través del tubo capilar. El segundo extremo libre del muelle está cerrado de manera hermética y articulado al sector 6 mediante la gufa 5. Ese sector, a su vez, engrana con el piñón 7, cuyo eje posee la aguja indicadora 8. La espiral 9 sirve para regular el juego del mecanismo de transmisión.

Termómetro de Gas

Su sustancia de trabajo es nitrógeno y el intervalo de

medición es de -150 a $+600$ °C; la longitud del tubo capilar de estos termómetros varía de 0.6 a 60 m.

A volumen constante la variación de la presión con la temperatura se determina así: $p_t = p_0(1 + \beta t)$ donde p_0 es la presión inicial del gas a temperatura 0 °C, β es el coeficiente térmico de presión del gas en $^{\circ}\text{K}^{-1}$, t es la temperatura final.

Como se notará, las dimensiones de este tipo de termómetros son enormes, razón por la cual es limitado su uso.

Termómetros Manométricos de Condensación.

Se fabrican con límites de medición de -50 a 300 °C y la sustancia de trabajo puede ser freón 22 (de -25 a 80 °C), propileno (de -50 a 60 °C), Cloruro de Metilo (de 0 a 125 °C), acetona (de 100 a 200 °C), etc. Una relación unívoca de la presión del vapor saturado en función de la temperatura hay hasta la temperatura crítica, por lo que el límite superior de medición en este tipo de termómetro, debe ser menor que dicha temperatura.

El problema de este tipo de termómetros es que son irregulares en su escala.

Termómetros Manométricos de Líquido

Su sustancia de trabajo es alcohol propílico, metileno, aceites de silicios, etc. La longitud del tubo oscila entre 0.6 y 10 m. Su intervalo de medición es de -150 a 300 °C. Su escala es prácticamente uniforme.

TERMOMETROS DILATOMETRICOS Y BIMETALICOS [12]

Estos termómetros utilizan la propiedad de los cuerpos sólidos de modificar sus dimensiones lineales al variar la temperatura. Si el intervalo de temperaturas no es muy grande esa propiedad puede expresarse como $l_t = l_0(1 + \alpha t)$, donde l_t es la longitud del cuerpo sólido a la temperatura t , l_0 es la longitud del cuerpo sólido a la temperatura de 0°C , α es el coeficiente medio de dilatación lineal.

TABLA I-2

Material	$\alpha \cdot 10^6$ en $^{\circ}\text{C}^{-1}$	Intervalo de temperatura en $^{\circ}\text{C}$.
Cobre rojo	15.3	0 a 400
Cromo molibdeno	12.3	0 a 150
Invar	0.9	0 a 500
Cuarzo fundido	0.55	0 a 200
Acero al níquel	20.0	0 a 100

Los termómetros dilatométricos se emplean principalmente en calidad de convertidores primarios de medición en los sistemas de regulación automática de la temperatura.

Constan de un elemento sensible, en forma de tubo, dentro del cual permanece el vástago; al elevarse la temperatura del medio el tubo se dilata más que el vástago, debido a lo cual este último se desplaza hacia abajo, estas modificaciones en longitud se relacionan con la temperatura del medio a través de:

$$\Delta L = L_f - L_{in} = \frac{L_{in}(\alpha_t - \alpha_v)(t_f - t_v)}{1 + (\alpha_t - \alpha_v)(t_{in})}$$

donde L_{in} y L_f son las longitudes del tubo a las temperaturas t_{in} y t_f respectivamente, en m; α_t y α_v los coeficientes de dilatación lineal del tubo y el vástago en $^{\circ}\text{K}^{-1}$.

En la figura I-4, se muestra esquemáticamente un termómetro bimetalico, que se compone de dos tipos de metal pegados, que tienen diferentes coeficientes de expansión térmica. Si el elemento se expone a una temperatura mayor, a la que fue unido se doblará en una dirección y si se expone a una temperatura menor se doblará en dirección contraria. El comportamiento de estos elementos bimetalicos puede describirse a través de la ecuación de Eskin y Fritze

$$r = \frac{t \{ 3(1+m)^2 + (1+mn)[M^2 + (1+mn)] \}}{6(\alpha_t - \alpha_v)(T_1 - T_0)(1+m)^2}$$

donde t es el espesor total del elemento bimetalico, T_0 la temperatura a la que fue unido, T la temperatura actual; que se mide, α_1 el coeficiente de dilatación lineal menor, α_2 el coeficiente de dilatación lineal mayor, m es el cociente de espesores en donde al término del numerador le corresponde el material de mayor coeficiente de dilatación lineal, n es el cociente de módulo de elasticidad en donde el término del numerador corresponde al material de mayor coeficiente de dilatación lineal.

El intervalo de temperaturas que mide este tipo de termómetro está entre -100 y 1000 °C, y su incertidumbre es de ± 0.5 °K".

TERMOMETROS DE RESISTENCIA ELECTRICA [8]

Se usan ampliamente en intervalos de -260 a 750 °C, aunque pueden medir hasta 1000 °C.

Se basan en la propiedad que tienen las sustancias de cambiar su resistencia eléctrica con la variación de la temperatura.

Se consideran muy precisos.

El coeficiente de resistencia por temperatura se expresa

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1 T_2 - R_2 T_1}$$

donde R_1 y R_2 son las resistencias del material a las temperaturas T_1 y T_2 respectivamente, y esta relación es cierta en intervalos donde la variación de T con R es aproximadamente lineal. Cuando se desea medir un intervalo mayor debe usarse la siguiente relación $R = R_0 (1 + aT + bT^2)$

donde R_0 es la resistencia a 0°F , T es la temperatura que se mide, a y b son constantes experimentales.

TABLA I - 3

Coefficiente de resistencia por temperatura a temperatura ambiente en $^\circ\text{C}^{-1}$

Platino	0.00392
Niquel	0.00670
Aluminio	0.0045
Oro	0.0040

TERMISTORES [3]

La palabra termistor "thermal - resistor" señala a un dispositivo cuya resistencia cambia con la temperatura, sin embargo, este nombre es reservado generalmente a dispositivos semiconductores cuya resistencia cambia con la temperatura.

Hay dos clases generales de termistores; 1) Los de Coeficiente Negativo de Temperatura (NTC) y 2) Los de Coeficiente Positivo de Temperatura (PTC). Los más comunes y más usados son los NTC.

Termistores de Coeficiente Positivo de Temperatura (PTC)

Hay de dos tipos: a) aquellos hechos de compuestos metálicos pulverizados y b) hechos de silicio.

Una curva típica sería la siguiente:

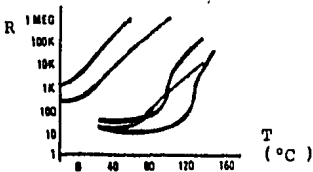


Fig. I-4. Gráfica de Resistencia-Temperatura PTC.

Sus intervalos de operación típicos son entre -80°C a 150°C , sus tolerancias típicas son de $\pm 10\%$ a $\pm 20\%$ a sólo 25°C , aunque también se pueden encontrar de $\pm 1\%$.

Termistores de Coeficiente Negativo de Temperatura (NTC)

Son dispositivos no lineales, altamente sensibles cuya resistencia decrece conforme aumenta la temperatura. Una gráfica típica sería:

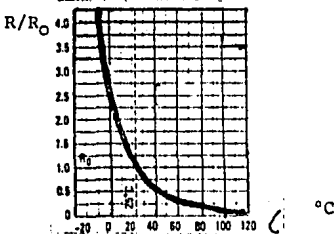


Fig. I-5. Gráfica de Relación Resistencia R/R_0 - Temperatura NTC.

Su sensibilidad es en algunos casos hasta de 4-5%/°C y sus variaciones en resistencia pueden ser de ohms o aún kilohms por °C.

Se pueden encontrar NTC cuya precisión sea hasta de ± 0.2 °C $\delta \pm 0.1$ °C en intervalos de 0 a 70 °C y algunos ya muy específicos, de precisiones tan altas como 0.05 °C.

No existe una ecuación exacta para describir el comportamiento de un NTC, sólo aproximaciones. Una ecuación usada comunmente es la siguiente:

$$R_{T_2} = R_{T_1} e^{\beta (1/T_2 - 1/T_1)}$$

donde T_1 y T_2 son temperaturas en °K, R_{T_1} y R_{T_2} son las resistencias del termistor en esas temperaturas y β es una constante que podemos determinar nosotros mismos al hacer dos mediciones a temperaturas diferentes.

Una mejor aproximación es la ecuación de Steinhart y Hart

$$\frac{1}{T} = a + b \ln R + c (\ln R)^3$$

donde T es la temperatura en °K, R es la resistencia del termistor a esa temperatura y a, b, c son constantes dependientes del intervalo de temperatura.

Muchas veces el costo del termistor está en relación directa con su sensibilidad. Existe una amplia variedad de estilos, formas y tamaños, resistencias y tolerancias, con una igualmente amplia variedad de especificaciones.

A altas temperaturas los semiconductores se descalibran facilmente, por lo que el intervalo de medición de temperatura de estos dispositivos es de unas cuantas centenas de °C.

Los termistores son resistencias y obedecen la Ley de Ohm, sin embargo, a una cierta temperatura la resistencia caerá en 4% por °C, como puede apreciarse en la gráfica siguiente:

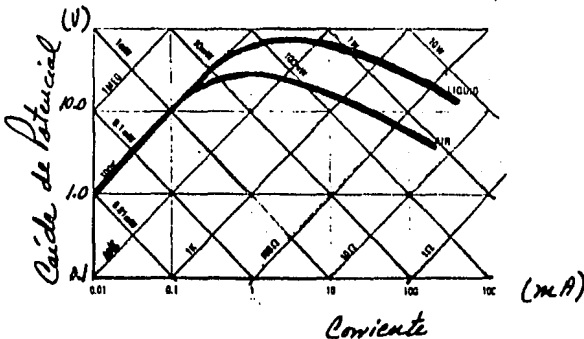


Fig. I-6.

Caída de potencial con respecto a la temperatura.

UNIONES PN [3]

Una unión PN consiste de materiales semiconductores del tipo P y del tipo N, por ejemplo: un diodo. Este tipo de uniones tiene excelentes propiedades transductoras de temperatura, aunque su rango de aplicación, es en intervalos de temperaturas más bajas que para los termistores.

Un par acoplado diodo-transistor ofrece la mejor unión PN transductora de temperatura. El voltaje base-emisor (V_{be}) en un transistor está dado por

$$V_{be} = (kT/q) \left(\ln \frac{I_c}{I_s} \right) \quad I_c / I_s \gg 1$$

donde k es la constante de Boltzman, q carga eléctrica elemental, T es temperatura en °K, I_s es la corriente de saturación inversa tomada usualmente de 1.87×10^{-4} amperes en un transistor usado para este propósito, I_c es la corriente del colector expresada en amperes.

En un circuito como el de la Fig I-8 construido utilizando un par acoplado monolítico de transistores, se puede calcular ΔV_{be} a partir de

$$\Delta V_{be} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_{c1}}{I_{s1}} \right) - \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_{c2}}{I_{s2}} \right)$$

Como I_{s1} e I_{s2} son aproximadamente iguales en un empaquetado de esta naturaleza, la ecuación anterior, después de algunas manipulaciones algebraicas quedaría así:

$$\Delta V_{be} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_{c1}}{I_{c2}} \right)$$

y si I_{c1} e I_{c2} son constantes y no iguales entre sí, tendríamos

$$\Delta V_{be} = k' T$$

de donde se ve que ΔV_{be} es proporcional a la temperatura de la unión.

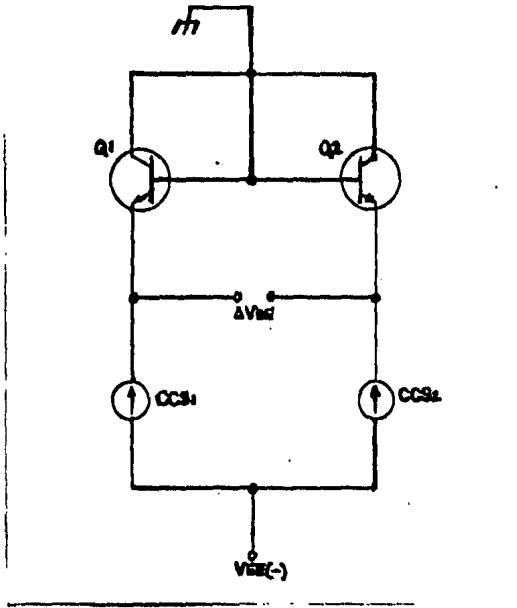


Fig. I-7 Unión PN - Transistor transductora de temperatura.

TERMOPARES

Un termopar se forma por dos materiales diferentes. Cada material tiene asociado a él mismo una propiedad natural, conocida como la función de trabajo. Diferencias en las respectivas funciones de trabajo de los materiales dan lugar a un potencial en el intervalo de milivolts que es función de la temperatura. Cuando la unión se calienta, una diferencia de potencial se encuentra a través de ambos materiales.

Su intervalo de medición es amplio y puede medir temperaturas de hasta 2500 °C, a temperaturas altas se utilizan por períodos cortos y a temperaturas bajas, de hasta -200°C, son poco utilizadas.

Son muy precisos y pueden conectarse a un aparato registrador que ayude a la medición automática de temperatura.

Seebeck en sus trabajos de 1821, mostró que una pequeña corriente eléctrica fluiría en un circuito cerrado, compuesto de dos conductores distintos termoeléctricamente homogéneos según su longitud, cuando sus uniones estuviesen a temperaturas diferentes, produciéndose una fuerza electromotriz. El par de conductores se conoce como termopar, dicho dispositivo puede decirse, convierte la energía térmica en eléctrica y la cantidad de energía eléctrica producida, puede servir para medir la temperatura.

En el manual "The Theory and Properties of Thermocouple Elements", editado por la American Society for Testing and Materials, se muestra como los fenómenos térmicos Peltier y Thompson dan lugar al efecto Seebeck.

El efecto Peltier señala que cuando una corriente eléctrica fluye a través de una unión de 2 metales distintos se libera o absorbe calor. Dicho efecto es definido como el cambio en el calor contenido cuando una carga de un coulomb cruza la unión de esos dos metales.

El efecto Thompson se define como el cambio en el calor contenido de un conductor de sección transversal unitaria cuando una cantidad unitaria de electricidad fluye a través de él, a través de un gradiente de temperatura de 1°K.

Por lo tanto en un circuito termoeléctrico tenemos tres fems: la fem debida al efecto Seebeck, causada por la unión de dos metales diferentes, la fem de Peltier, ocasionada por el flujo de corriente en un circuito y la fem de Thompson que se debe a la existencia de gradientes de temperatura en el material.

para el análisis de circuitos termoeléctricos se tienen tres leyes derivadas empíricamente:

1) La ley de metales intermedios: Si se coloca un tercer elemento metal, entre los elementos del termopar, no habrá cambio en el voltaje de salida, siempre y cuando las nuevas conexiones se mantengan a la misma temperatura.

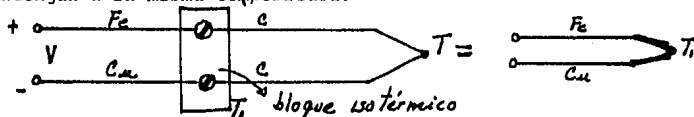


Fig. I-8. Ley de Metales Intermedios

2) La ley de las temperaturas intermedias: Si tenemos un circuito termopar que trabaje entre las temperaturas T_1 y T_2 , generará una cierta fem igual a E_1 ; ese mismo circuito trabajando a temperaturas T_2 y T_3 , generará una fem igual a E_2 . La ley de temperaturas intermedias establece que ese mismo circuito, cuando opere entre las temperaturas T_1 y T_3 generará una fem de $E_3 = E_1 + E_2$.

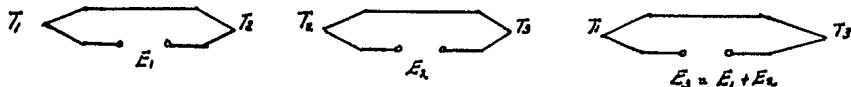


Fig. I-9. Ley de las Temperaturas Intermedias

3) La ley de los Metales insertados: Si un cierto circuito termopar, el cual para una temperatura T_1 , generará una fem E_1 , se inserta en uno de los elementos del termopar un tercer elemento y se mantienen las uniones de ese tercer elemento a la misma temperatura, se generará esa misma fem E_1 para la temperatura T_1 .

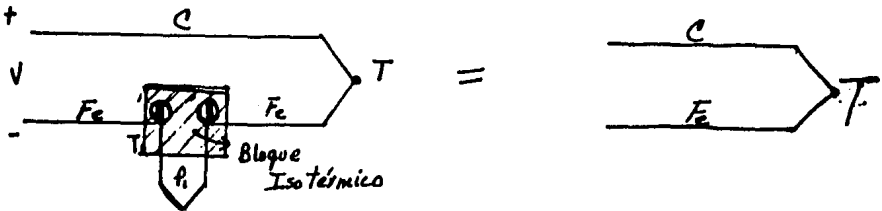


Fig. I-10. Ley de los Metales Insertados

De acuerdo a estas leyes, debe tenerse cuidado al usar un termómetro termoelectrico, ya que la temperatura de los extremos libres del termopar debe mantenerse a una temperatura constante t_0 , la cual frecuentemente es de 0°C .

En dichos extremos libres puede instalarse un dispositivo especial para mantener constante su temperatura, o un aparato que asegure la introducción automática de la corrección.

"En condiciones de laboratorio la temperatura de los extremos libres se mantiene generalmente igual a 0°C . Para esto, dichos extremos soldados a conductores de cobre, se sumergen en probetas de vidrio con una pequeña cantidad de aceite, las cuales a su vez, se colocan dentro de un frasco de Dewar, lleno de hielo en proceso de derretimiento. Además es imprescindible que los extremos se hallen sumergidos en el hielo a una profundidad de 100 a 150 mm, como mínimo".

Los materiales de los que se fabrican los termopares deben tener los siguientes requisitos: punto de fusión muy elevado, resistencia mecánica, inercia química, homogeneidad termoelectrica, alta sensibilidad y en la medida de lo posible una relación lineal con la temperatura.

Los termómetros termoelectricos se dividen en dos grupos: los de termoelectrodos de metales nobles y de metales comunes y los de termoelectrodos de compuestos refractarios o sus combinaciones con grafito y otros materiales.

Al primer grupo pertenecen los termómetros termoelectricos de Chromel - Alumel del tipo TJA, los cuales se utilizan ampliamente para medir temperaturas de gases y líquidos. El termoelectrodo positivo es el Chromel y el negativo el alumel que es una aleación magnética a base de níquel (94% de níquel,

2 % de aluminio, 2,5 % de manganeso, 1% de silicio y 0.5% de impurezas). Se pueden usar hasta 1000 °C por largo tiempo y hasta 1200 °C por poco tiempo. A una temperatura próxima a 1000 °C, el electrodo del alumel es menos estable a la oxidación que el de Chromel. Los límites superiores de temperaturas para el empleo de los alambres de los termoelectrodos de Chromel Alumel, al trabajar en un medio de aire, se establece según el diámetro de éstos. Cuando se usa, por ejemplo, alambres de 3.2 y 5 mm. de diámetro, éstos pueden utilizarse hasta 1000 °C por largo tiempo. Al reducirse los diámetros del alambre, los límites de uso han de disminuirse.

Una característica importante del termopar Chromel-Alumel es que su relación Voltaje-Temperatura es de manera general lineal, sin embargo, si se toman intervalos pequeños de temperatura puede encontrarse una relación altamente lineal, lo que puede verse en el Capítulo 2, en la Subrutina de Selección de Límites.

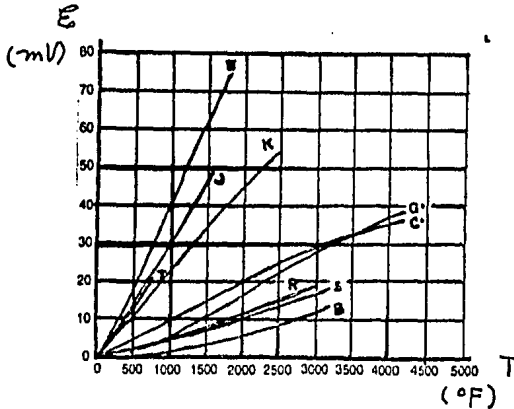


Fig. I-11. Gráfica de la Temperatura - Fuerza Electromotriz para termopares.

PIROMETROS [12], [8]

Son aparatos de medición sin contacto, miden la temperatura de los cuerpos basándose en la emisión calorífica de éstos. Se usan ampliamente en Metalurgia y en otros campos, para medir temperaturas altas desde 300 a 6000 °C, o incluso mayores.

Este tipo de métodos de medición de temperatura se basan en las leyes de radiación del cuerpo negro, la luminancia energética o brillo es la principal magnitud que detectan los Pirometros. De acuerdo a la ecuación de Planck

$$R_0(\lambda, T) = c_1 \lambda^{-5} (e^{c_2/\lambda T} - 1)^{-1}$$

que describe la luminosidad espectral del cuerpo negro R_0 en función de la longitud de onda λ y la temperatura T , c_1 y c_2 son coeficientes constantes, podemos trazar la siguiente gráfica

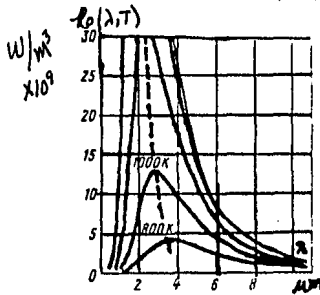


Fig. I-12 Variación de la densidad espectral del cuerpo negro a diferentes temperaturas de acuerdo a la ecuación de Planck.

en la cual podemos apreciar que la radiación espectral del cuerpo negro aumenta más rápidamente que la temperatura, por lo cuál podemos medir ésta en la zona visible del espectro, según la variación del brillo del cuerpo en una longitud de onda dada. Para ésto se utilizan los Pirómetros Ópticos y Fotoeléctricos. Al aumentar la temperatura, el máximo de la curva de distribución de la energía de radiación en el espectro se desplaza hacia las ondas cortas encontrándose la Ley de Desplazamiento de Wien (Ver línea a trazos en la figura precedente).

O sea, que cuando hay una variación de la temperatura de un cuerpo, hay una modificación en el color de la radiación emitida y es por ésto, que a estos métodos de medición de temperaturas se les llama Métodos de Color. Los aparatos que miden la temperatura de color según la relación de las radiaciones enérgicas se llaman pirómetros de relación espectral o pirómetros de color.

Pirómetros Ópticos

Son los llamados pirómetros de incandescencia variable y miden la temperatura de luminancia en la zona visible del espectro, o sea, entre 700 y 8000 °C, comparando el color de la radiación emitida por el cuerpo al cual se le quiere medir su temperatura, con el del filamento de una lámpara pirométrica. El ojo humano es el que efectúa dicha comparación, siendo ésto algo que demerita la credibilidad de esta medición.

Existen diferentes tipos de pirómetros ópticos, pero puede decirse que todos ellos, en esencia son como el de la siguiente figura

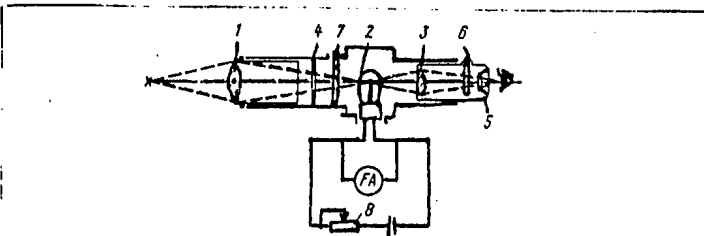


Fig. I-13 Esquema de la estructura de un pirómetro óptico de filamento:
1, objetivo; 2, lámpara pirométrica; 3, ocular; 4, diafragma de entrada; 5, diafragma de salida; 6, filtro rojo; 7, vidrio absorbente; 8, reóstato

Tomada de [12].

Pirómetros Fotoeléctricos

Son aparatos automáticos que pueden medir la temperatura de radiación de los cuerpos en reposo o en movimiento calentados hasta una radiación visible y son más precisos que los pirómetros ópticos.

En los pirómetros fotoeléctricos se utiliza como receptor de radiación una fotocelda, al iluminar ésta, en el circuito surge una corriente proporcional al flujo luminoso emitido por el cuerpo del que se mide su temperatura.

Este tipo de pirómetros puede dividirse en dos grupos:

1) Aquellos en el que intervalo de trabajo de la fotocelda es relativamente estrecho, de 0.6 a 0.72 μm y el paso de las temperaturas de luminancia de los cuerpos a sus temperaturas reales se hace utilizando tablas y 2) en los que el intervalo de trabajo de la fotocelda es muy amplio y el paso de la temperatura de luminancia a la verdadera es muy difícil, pues no existe en muchos casos suficiente información de los valores de los coeficientes de radiación de algunos cuerpos. Es por ésto, que este segundo grupo de pirómetros se utiliza sólo cuando se desea una aproximación de la temperatura real del cuerpo y no su valor exacto, aunque existen algunos pirómetros de este segundo grupo que poseen gráficas de correcciones, que permiten aproximarse mucho a la temperatura real del cuerpo. Su intervalo de medición está entre 800 y 2000 °C, su incertidumbre no es mayor a $\pm 1.5\%$ del margen superior de medición.

El pirómetro óptico es el más utilizado ya que es relativamente barato y la determinación de la temperatura no depende mucho de las propiedades de la superficie del cuerpo calentado. Sin embargo, si se conoce muy bien las propiedades emisivas del cuerpo calentado es mejor utilizar pirómetros fotoeléctricos.

Existen otros tipos de Pirómetros, para mayor información pueden consultarse las referencias.

TRANSDUCTOR UTILIZADO

En este trabajo se empleó como transductor del Sistema un termopar Chromel Alumel.

Los termopares son sencillos de usar, relativamente baratos, su intervalo de medición es amplio hasta de 2000 °C, su grado de precisión elevado, dan posibilidad de registrar automáticamente la temperatura medida con un aparato registrador, también es posible graduar el aparato de medición y el termómetro termoeléctrico por separado. [13]

Se utilizó un termopar de Chromel Alumel debido a que su intervalo de medición es amplio (de -200 a 1300 °C), tienen un precio accesible y desarrollan una diferencia de potencial de 4.10 mV cuando la temperatura del extremo de trabajo es de 100 °C y la de los extremos libres de 0°C. Otras características de éste están expuestas en la sección de Termopares de este mismo capítulo.

El Sistema desarrollado en esta Tesis permite utilizar otro tipo de transductor, tan sólo indicando por programa las características específicas de dicho transductor, por lo que aquí el empleo del termopar Chromel Alumel, barato, fácil de conseguir y con un intervalo de medición amplio está justificado plenamente.

CAPITULO 2

En este capítulo se describen los circuitos electrónicos y programas del Sistema.

INTRODUCCION

En sistemas que emplean microprocesadores existe una gran interrelación entre los circuitos electrónicos "Hardware" y el Programa "Software". El desarrollo de estos dos últimos es paralelo conforme se va diseñando el Sistema, por lo que no puede haber una separación drástica al hablar de uno o del otro, por ésto, a lo largo de este capítulo, al describir alguno de ellos se hará referencia a la sección donde se describe al otro.

De manera general, el Sistema de que trata esta Tesis, es un Sistema de Adquisición de Datos, con su correspondiente subrutina, que maneja un convertidor digital analógico (DAC) de 10 bits y un comparador, de tal manera que se forma un convertidor analógico digital (ADC).

En la subrutina de adquisición de datos se obtiene el equivalente hexadecimal del voltaje del termopar Chromel Alumel. Esta subrutina puede utilizarse con ligeras variantes en otros sistemas, por ejemplo, los resultados obtenidos en esta subrutina podrían ser graficados, lo que daría mayor versatilidad al Sistema.

Debido a que para el termopar Chromel Alumel, la relación Voltaje-Temperatura no es perfectamente lineal (Ver Capítulo 1, sección Termopares), se subdividió el intervalo total de temperatura (0-700°C), en otros nueve más pequeños, a los cuales, utilizando Mínimos Cuadrados, se les ajustó una ecuación de la forma $T = m_1 V + b_1$, cuyos coeficientes de corrección fueron de 1.000. (ver Tabla 2-1).

En la subrutina de selección de límites se determina el intervalo de temperatura, en el cual se encuentra la medición que se está efectuando y se le asignan sus correspondientes b_i y m_i .

En las subrutinas siguientes se obtiene el equivalente hexadecimal de la temperatura, valor que finalmente será convertido a decimal y mostrado en una pequeña carátula que el Sistema tiene para tal efecto.

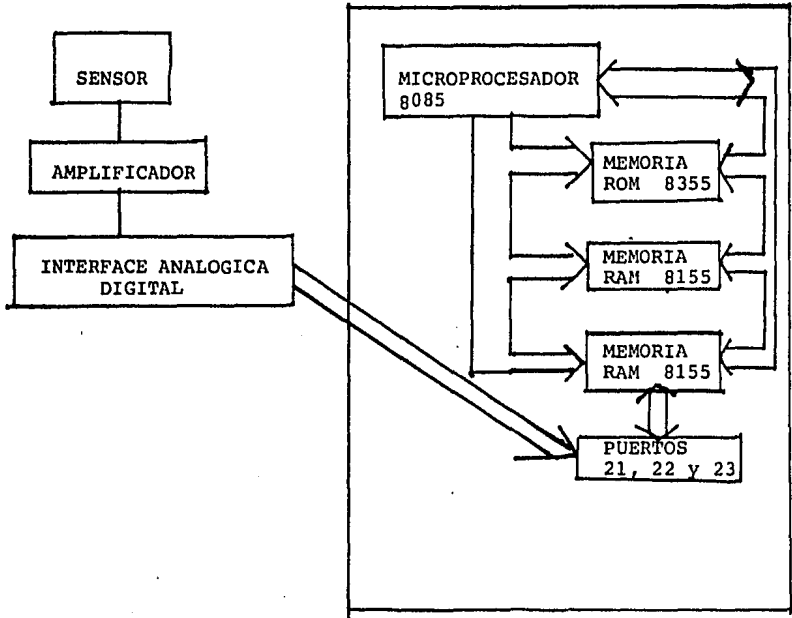


FIG 2-1. DIAGRAMA POR UNIDADES FUNCIONALES DEL SISTEMA

DESCRIPCION GENERAL DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

El sistema es un termómetro que está constituido por un amplificador de instrumentación, una interfase analógica digital y un sistema de desarrollo que utiliza al microprocesador 8085. Su intervalo de medición es de 0 a 700 °C, aunque puede expandirse fácilmente a otros intervalos de temperatura.

El sensor de este sistema es un termopar Chromel Alumel, cuyas principales características están expuestas en el capítulo 1. Se puede utilizar este mismo sistema con cualquier otro tipo de termopar, lo que modifica ligeramente el "Software" en la tabla de valores de m_i y b_i de las rectas mencionadas en la Introducción. La señal del termopar es del orden de 10^{-5} volts, razón por la cual es amplificada a fin de que esté dentro del intervalo de señales con las que trabaja el convertidor analógico digital.

El microprocesador trabaja con patrones binarios; el mundo exterior al microprocesador es analógico, para que ese mundo exterior y el microprocesador puedan comunicarse se han diseñado los convertidores, que convierten patrones binarios en señales analógicas e inversamente y que organizan los datos de tal manera que el microprocesador pueda trabajar con ellos.

El microprocesador a través de interfaces y programas, en especial de la subrutina de adquisición de datos, genera una serie de señales, cuyo correspondiente analógico es comparado con la señal amplificada del termopar (Ver comparador); si ambos son iguales, el microprocesador almacenará la correspondiente combinación binaria, que es trabajada por los subprogramas siguientes al de adquisición de datos.

La relación Voltaje-Temperatura en un termopar Chromel-Alu

el es de manera general, una relación lineal. A fin de aumentar la exactitud del Sistema su intervalo de medición fue subdividido en nueve intervalos, a cada uno de los cuales se les ajustó una ecuación de la forma $T = m_1 V + b_1$, utilizando Mínimos Cuadrados, y cuyos coeficientes de correlación son de 1.000. (Ver Tabla 2-1).

Una vez que el microprocesador ha obtenido la combinación binaria equivalente al voltaje del termopar, determina el intervalo en el cual se encuentra ese voltaje. A tal valor le asigna m_1 y b_1 correspondientes, de tal manera que recupera la ecuación anteriormente mencionada. Con ello obtiene el valor de la temperatura equivalente al voltaje del termopar censado. Valor que será mostrado en la carátula que el Sistema tiene para tal efecto.

DESCRIPCION DE LOS CIRCUITOS ELECTRONICOS DEL SISTEMA

A- Microcomputadoras y Microprocesadores

Acerca de microcomputadoras y microprocesadores se ha escrito muchísimo, existen excelentes libros tanto a nivel introductorio como avanzado en estos temas, algunos de los cuales se mencionan en la Bibliografía; es por ello que la descripción de aquellos términos y otros relacionados se remiten al Glosario, aquí tan sólo es importante mencionar que una computadora básica está formada por: a) una Unidad Central de Proceso, procesador o C.P.U. (en una microcomputadora se le conoce como MICROPROCESADOR), b) Memoria y c) Puertos de entrada y salida (I/O). (Ver Diagrama de Unidades Funcionales del Sistema).

Para el desarrollo de este trabajo se utilizó el Sistema SDK-85 de Intel, el cual es un sistema completo de microcomputadora que incluye C.P.U., memorias y puertos de entrada y salida. El microprocesador que trae este Sistema es el 8085,

aunque se considerará puede implementarse este trabajo con cualquier otro sistema que contenga otro microprocesador, con ligeras variantes tanto en "Software" como en "Hardware. En el Apéndice 1 se da una descripción detallada tanto del SDK-85, como del microprocesador 8085.

Sólo se mencionará que entre los circuitos integrados con que cuenta el Sistema están el 8355, el cual contiene 2048 bytes de Memoria de Sólo Lectura (ROM) y también dos 8155, cada uno de los cuales contiene 256 bytes de Memoria de Lectura y Escritura (RAM), 22 líneas programables de entrada y salida (puertos) y un contador de 14 bits. Es por este circuito integrado que el Sistema trata indistintamente a los puertos de memoria en su esquema de direccionamiento, se pueden programar operaciones lógicas y aritméticas sobre datos de los puertos, al igual que se pueden manipular datos entre los registros internos y los puertos. El mapa de puertos del SDK-85, con un "RAM" básico es el siguiente:

- 20 - Registro de Estados y Comandos
- 21 - Puerto A
- 22 - Puerto B
- 23 - Puerto C
- 24 - Byte inferior del contador

La manera en que se controlan estos puertos es a través del Registro de comando, el cual consta de 8 bits; 4 bits (B_0, \dots, B_3) definen el modo de los puertos, dos bits (B_4, B_5) habilitan o deshabilitan interrupciones para el puerto C, el cual opera como puerto de control y los dos últimos bits (B_6, B_7) son para el marcador de tiempo "timer".

En este trabajo se utilizan como puertos de salida los puertos 21 y 22 para colocar a la entrada del DAC el valor del bit que se está probando en la subrutina de adquisición de datos (Ver subrutina) y como puerto de entrada el puerto 23, el cual indica la salida del comparador a fin de que esté sea probada por "Software" en la misma subrutina.

B- Frente de Entrada de Amplificación.

Se utilizó una configuración diferencial (tipo instrumentación) en el frente de entrada [1]. El cual está formado por dos amplificadores operacionales "OPAM", empaquetados en un sólo 747, lo cual da estabilidad térmica al Sistema. La amplificación en esta primera etapa es de $-R_1/R_2 = -10$. La señal de salida de estos dos amplificadores se refiere a tierra para lo cual se usa el tercer amplificador operacional en configuración diferencial. La ganancia en este OPAM es de uno y la del frente de amplificación es hasta esta etapa de 10.

Se hizo un puente a-b (Ver Diagrama Completo del Sistema), a fin de facilitar el control del ajuste a cero "offset", ya que cuando se calibra el "offset" del primer 747, podría afectarse el ajuste del offset del 2º. y viceversa. Con este procedimiento pueden calibrarse separadamente y una vez hecho lo anterior se une dicho puente.

El cuarto OPAM está en configuración inversora referida a tierra y su factor de amplificación está entre 5.6 y 7.8, por lo que la configuración total del frente de entrada tiene una ganancia de entre 56 y 78; la ganancia requerida para el Sistema es de 68.63.

C- Convertidor Digital Analógico (DAC).

Los convertidores digitales analógicos son la base de muchos diseños de conversores analógicos digitales (ADC) y tienen uso amplio en "displays" controlados digitalmente, en control digital de sistemas, en procesos de control automático, etc.

Típicamente los convertidores digitales analógicos se componen de tres subsistemas: una fuente de voltaje muy estable y precisa, el DAC en sí mismo y un amplificador operacional.

Tienen como entrada un código digital de n bits y como salida una corriente o voltaje analógicos que son función de su entrada. Para un código de entrada de n bits, la salida

del DAC es: $V_o = V_{ref} (B_1 2^{-1} + B_2 2^{-2} + \dots + B_n 2^{-n})$

donde B_1 es el bit más significativo y B_n es el menos significativo. En el Sistema se utiliza el conversor digital Analógico MC 3410 de Motorola de 10 bits, a cuya entrada se coloca la combinación de bits que se están probando a través de la subrutina de adquisición de datos y cuya salida es una corriente analógica equivalente a dicha combinación, que se convierte a voltaje; ese voltaje es comparado posteriormente con el voltaje del termopar ya amplificado (Ver comparador).

La resolución es una medida del tamaño del valor de salida asociado con un cambio de un bit menos significativo en la entrada. La resolución del MC 3410 de Motorola es de $(1/2^n)$ (Voltaje de referencia) = $(1/2^{10}) (2 \text{ volts}) = 1.95 \times 10^{-3} \text{ Volts}$ equivalentes a $0.7 \text{ }^\circ\text{C}$.

La exactitud es una medida de que tan próximo será el valor experimental del valor teórico. La exactitud en un DAC es principalmente una función de la exactitud de los resistores que conforman el DAC, así como del voltaje de referencia. [11]. Motorola informa una exactitud del $\pm 0.05\%$ a escala completa para el MC3410. Por lo que en este Sistema, considerando tanto el DAC en sí mismo como el amplificador operacional que funciona como un convertidor de corriente a voltaje, se tiene una exactitud de $\pm 1 \text{ mV}$ equivalente a $\pm 0.35 \text{ }^\circ\text{C}$.

Dos pruebas muy sencillas e importantes se realizan para verificar el buen funcionamiento del DAC, son:

1) Exactitud del Estado Estacionario

Se coloca una combinación digital conocida a la entrada del convertidor, se mide su correspondiente salida analógica y se compara con el valor teórico. Para hacer dicha salida analógica igual al valor teórico se hace uso de las resistencias R_0 y R_1 . (Ver Diagrama del DAC) y se ajuste el "offset" del 741. Para un DAC de n bits se considera que si se colocan

esos n bits en "1 lógico" se tendrá una salida:

$$V_o = V_{ref} (B_1 2^{-1} + \dots + B_n 2^{-n}) = V_{ref} \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2^n} = V_{ref}.$$

El DAC que se utilizó es de 10 bits, si se colocan esos 10 bits en "1 lógicos", se tiene la combinación $03FF_{16}$ a la entrada del DAC y la salida teórica deberá ser igual al voltaje de referencia. Si se coloca 0100_{16} a la entrada del DAC se tiene una salida:

$$V_o = 2 \left(\frac{0}{2} + \frac{1}{4} + 0 \right) = \frac{1}{2} \text{ Volt.}$$

2) Monotonicidad

Se verifica que la salida de voltaje se incremente linealmente conforme la combinación digital de la entrada se incrementa. Esto puede verificarse de muchas maneras, una de ellas, es usando un contador como la señal digital de entrada y observando la salida analógica en un osciloscopio, dicha salida debe ser una escalera perfecta, sus 2^n escalones deben ser igualmente espaciados y de igual amplitud. Para verificar esto basta con observar en la ficha técnica de este circuito integrado lo que informa Motorola: "monotonicidad a 10 bits".

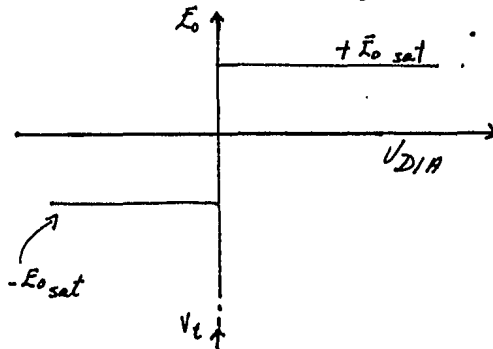
D- Comparador.

Un comparador es un dispositivo usado para comparar un voltaje de referencia con otro voltaje cualquiera.

En esta Tesis en particular se utiliza un 741 en configuración diferencial ya que las variaciones de los voltajes a comparar son relativamente lentas.

En la entrada inversora del operacional se aplica el voltaje del termopar ya amplificado (V_t) y en su entrada no inversora la salida del DAC ($V_{D/A}$).

El voltaje del Convertidor DAC se incrementa paulatinamente a través de la subrutina de adquisición de datos. Cuando $V_{D/A}$ es menor que V_t , la salida del comparador está en el límite negativo de saturación ($-E_{O\ sat}$). En el momento en que $V_{D/A}$ es mayor que V_t , la salida del comparador pasará a su límite de saturación positivo ($E_{O\ sat}$). Una gráfica de esta característica de transferencia es la siguiente:



La diferencia de voltaje requerida para cambiar la salida del comparador de un estado a otro es muy pequeña ($E_{O\ sat} - (-E_{O\ sat}) / A_v$, el orden es de unas centenas de microvolts. Dicha salida es colocada en el puerto de entrada en el bit (6 bits) correspondiente(s); como un "1 lógico". En este trabajo se hace uso del bit cero (b_0) del puerto 23 del 8155.

DESCRIPCION DE LOS PROGRAMAS "SOFTWARE"

A- Descripción del Programa Principal

Es el que eslabona todas las operaciones, prepara al Sistema para entrar a las diferentes subrutinas y llama a éstas.

El Programa Principal presenta las condiciones necesarias para entrar a cada subrutina y ordena los resultados a la salida de cada una de ellas.

Al inicio de este programa se habilita al Sistema para ir a subrutinas, se programa al Registro de Comandos a fin de indicar que los puertos 21 y 22 son usados como salida y el puerto 23 como entrada.

Cómo se trabaja con 10 bits (el DAC es de 10 bits), y el microprocesador trabaja internamente con 8 bits, se dividen esos 10 bits en dos conjuntos de 1 byte cada uno: el conjunto del byte superior que contiene los dos bits más significativos de los 10 bits y que en ese byte corresponden a los bits b_1 y b_0 , y el conjunto del byte inferior, el cual contiene los 8 restantes.

El programa principal prepara al sistema para que a través de la subrutina de adquisición de datos, obtenga el valor del byte superior, indicando el puerto que corresponde a éste (puerto 22) y la dirección en la memoria donde se almacena dicho valor. Llama a la subrutina de adquisición de datos. Una vez hecho lo anterior se prepara al Sistema para que obtenga el byte inferior, para el que se utiliza el puerto 21 y la dirección siguiente a la del byte superior. Vuelve a llamar a la Subrutina de adquisición de datos y es al regreso de ésta, cuando ya se tiene el equivalente hexadecimal del voltaje del termopar. A continuación el Programa Principal llama a la subrutina de selección de límites, donde de acuerdo al intervalo de temperatura donde se encuentre la medición que se está efectuando, se asigna un valor de m_i y de b_i , tal que en subrutinas posteriores se obtiene la recta mencionada anteriormente $T = m_i V + b_i$, o equivalentemente $Y_H = m_{iH} X_H + b_{iH}$, ya que se trabaja hexadecimalmente y se tiene X_H : equivalente hexadecimal del voltaje del termopar, Y_H : equivalente hexadecimal de la temperatura, m_{iH} y b_{iH} equivalentes hexadecimales de la pendiente y de la ordenada al origen, res-

pectivamente de la recta que se ha ajustado al i 'ésimo intervalo de temperatura.

Posteriormente se llama a la Subrutina de Multiplicación, donde se obtiene $m_{iH} X_H$ en 32 bits, las cuales en la subrutina de Suma de b_i son sumados adecuadamente con los 16 bits de b_i , teniéndose ya $Y_H = m_{iH} X_H + b_i$.

El Programa Principal almacena los 16 bits superiores y a través de la subrutina de conversión, obtiene el valor decimal de los 16 bits inferiores. Los 16 bits superiores los multiplica al llamar por segunda vez a la Subrutina de Multiplicación, por su valor posicional entre 10, ya que un "1 lógico" en el bit 0 del byte superior es $01000_{16} = 65535_{10}$, el resultado de esta multiplicación es convertido de hexadecimal a decimal, utilizando la subrutina de conversión.

El Programa Principal guarda los resultados obtenidos de ambas conversiones, dichos resultados son sumados de manera decimal utilizando la subrutina de Suma y ajuste decimal.

El valor decimal de la temperatura que corresponde al equivalente hexadecimal del voltaje del termopar obtenido en la subrutina de adquisición de datos se muestra en la carátula que el SDK-85, tiene para tal efecto.

Posteriormente se limpian los registros de almacenamiento "latches" de los puertos y se va a otra lectura del voltaje del termopar, en caso de no hacerlos se tendrá basura, antes de comenzar el nuevo proceso de adquisición de datos.

Secuencia del Programa Principal

- 1- Se indica cuales son los puertos de entrada y cuales los de salida. Indica la dirección del apuntador de programas (Stack Pointer).
- 2- Obtiene el valor de los dos bits superiores (b_9, b_8) del equivalente hexadecimal del voltaje del termopar, utilizando la subrutina de adquisición de datos.
- 3- Obtiene el valor de los ocho bits inferiores (b_7, \dots, b_0) del equivalente hexadecimal del voltaje del termopar utilizando la subrutina de adquisición de datos.
- 4- Subrutina de selección del intervalo de temperatura, pen-

- diente m_i y ordenada al origen b_i .
- 5- Subrutina de Multiplicación.
 - 6- Subrutina de suma de ordenada al origen.
 - 7- Subrutina de conversión de hexadecimal a decimal para los 16 bits inferiores del resultado obtenido en 6.
 - 8- Indica el valor posicional de los 16 bits superiores del resultado obtenido en 6.
 - 9- Subrutina de Multiplicación.
 - 10- Subrutina de conversión de hexadecimal a decimal para los 16 bits superiores del resultado obtenido en 6.
 - 11- Subrutina de Suma y ajuste decimales.
 - 12- Muestra el valor de la temperatura.
 - 13- Va a 2.

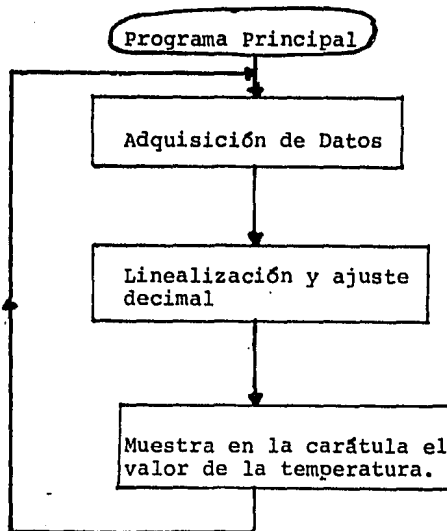


Fig. 2-2 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA PRINCIPAL

B- Subrutina de Adquisición de Datos

Esta subrutina recibe el resultado de comparar el voltaje de salida del termopar "Voltaje desconocido" (V_t), con un voltaje producido por un convertidor analógico digital ($V_{D/A}$). La operación es realizada por un comparador (Ver sección correspondiente en este capítulo). El voltaje de salida del comparador digital analógico, se incrementa constantemente desde esta subrutina, hasta que es ligeramente mayor que el voltaje del termopar ya amplificado, es en ese momento que la salida del comparador pasa de su voltaje de saturación negativo ($-E_{O \text{ sat}}$) equivalente a "0 lógico" a su voltaje de saturación positivo ($+E_{O \text{ sat}}$), que es mayor a 2 volts y que equivale a "1 lógico". La salida del comparador es probada por "Software" pues un puerto de entrada es usado para aceptar la salida del comparador (Ver Diagrama completo del Sistema) y hay una instrucción en esta subrutina que pregunta por resultado de esta comparación. (Ver Apéndice 3).

Existe una técnica sencilla y rápida para realizar conversiones analógicas-digitales que es la "Aproximación Sucesiva" [17]. El método de aproximación sucesiva prueba basándose en el valor posicional de cada bit, desde el bit más significativo hasta el menos significativo. En este trabajo se tiene un DAC 10 bits, por lo que en 10 pasos se tiene el equivalente hexadecimal del voltaje desconocido.

Las pruebas individuales de cada bit son realizadas con valores binarios, tal que el valor binario se suma o excluye del valor total dependiendo de la comparación del total acumulado con el valor desconocido; lo cual se realiza al poner un "1" en cada posición del bit que contribuye al total y un "0" en aquellas posiciones para las cuales los valores binarios no han sido añadidos a la suma.

El algoritmo para esta subrutina es el siguiente: El microprocesador comienza poniendo todos los bits de entrada al convertidor DAC en "0 lógico". El bit más significativo

- 8- Se llama a subrutina de salida a Puertos.
 9- Retorna al Programa Principal.

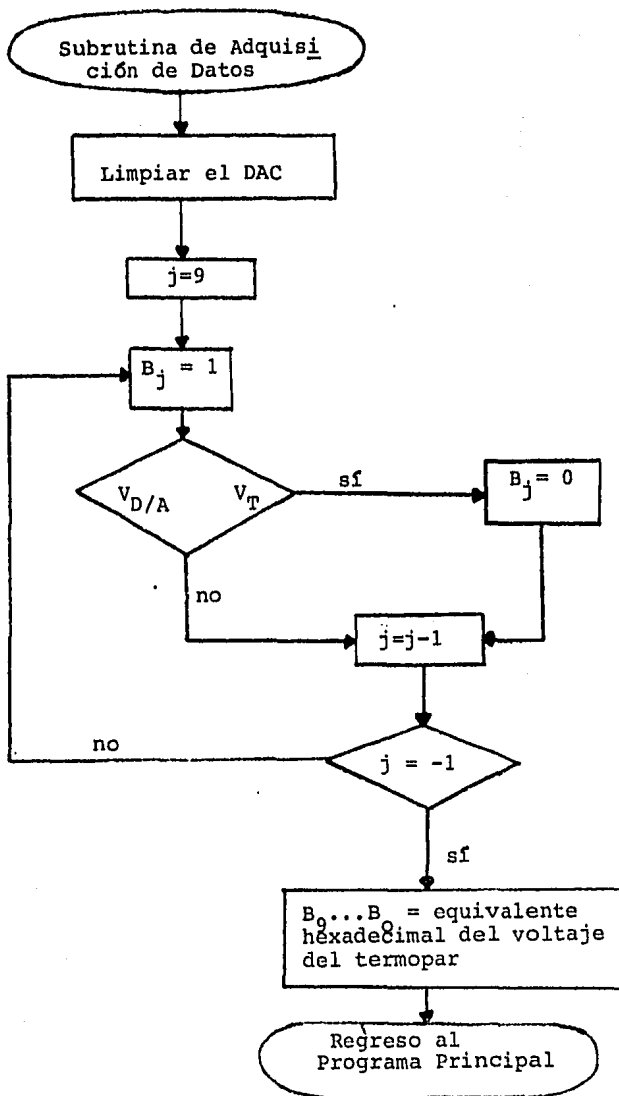


Fig. 2-3 Diagrama de Flujo de Subrutina de Adquisición de Datos.

C- Subrutina de Salida a Puertos.

Esta subrutina se ejecuta tres veces a lo largo del Programa. Las dos primeras puede considerarse como una subrutina de la de adquisición de datos y la tercera vez se utiliza para limpiar los registros de almacenamiento "latches" de los puertos.

En esas dos primeras veces se coloca en los puertos 21 y 22 (Ver sección de Hardware, referente al 8155), el valor del bit que se está probando más el valor de los bits anteriormente probados en la Subrutina de Adquisición de datos (Ver tal subrutina). Dichos puertos están conectados al DAC (Ver Diagrama Completo del Sistema). La respuesta del DAC no es inmediata y se necesita un retardo; es con este propósito que este subprograma llama a la Subrutina de Retardo del Monitor "Delay"* que se encuentra en la dirección 05F1, la cual decrementa un número contenido en 16 bits hasta cero y retorna al programa por el que fue llamada.

El valor del retardo es de: 3.448×10^{-3} seg.

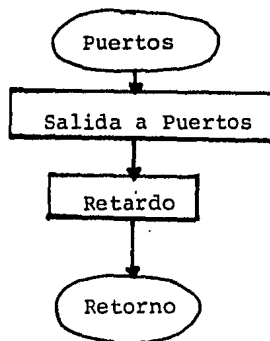


Fig. 2-4 Diagrama de Flujo de la Subrutina de Salida a Puertos.

D- Subrutina de Selección de Límites

En este trabajo se quiere un termómetro para el Laboratorio de Materiales Cerámicos y Metalúrgicos del Instituto de Investigación en Materiales de la UNAM, que trabaje en un intervalo de temperatura de 0-700°C.

Debido a que para el termopar Chromel Alumel la relación Voltaje - Temperatura no es perfectamente lineal (Ver Capítulo 1, sección Termopares), se subdividió el intervalo total de temperatura (0-700°C), en otros 9 más pequeños, cuyos límites pueden verse en la Tabla 2-1, a los cuales, utilizando Mínimos Cuadrados, se les ajustó una ecuación de la forma $T = m_i V + b_i$, cuyos coeficientes de correlación fueron de 1.000.

Es en esta subrutina donde se compara el valor del equivalente hexadecimal del voltaje del termopar, encontrado por la subrutina de adquisición de datos con el valor del límite superior de cada segmento; si el valor del primero es menor, entonces se almacenan las correspondientes m_i y b_i de ese segmento, en caso de ser mayor el valor del primero con respecto al valor del segundo, entonces se pasa al siguiente intervalo para efectuar la comparación.

Este subprograma considera el hecho de que en el tercer segmento de 105 a 199°C, la ordenada al origen b_3 es negativa y que puede efectuarse una suma con el complemento a 2 de b_3 , despreciándose el "carry" generado, para ésto se utiliza la indexación indicando que si el equivalente hexadecimal del voltaje del termopar se encuentra en ese intervalo, entonces en la subrutina de Suma de b_i debe despreciarse el "carry" generado.

Se considerará que por programa se puede hacer que el mismo sistema electrónico tome lecturas en intervalos de 0-1000 °C, 0-700°C, o el que más interese. Tan sólo se modifica la Tabla de Valores donde se indica el límite superior del intervalo de temperatura y m_i , b_i correspondientes al termo-

par que se utilice y a dichos intervalos (ver Tabla de Valores en el Apéndice 4). Cada una de estas tablas quedaría almacenada en EPROMS diferentes. Para ello se considera una ecuación del tipo siguiente: $T = (Km') (x'/K) + b$, donde la K estaría en función del intervalo de temperatura escogido. Para encontrar la "K", se toman en consideración hechos como los siguientes:

- 1) Se tiene que la resolución del DAC está dada por:

$$\text{Resolución} = \frac{\text{Voltaje de Referencia}}{2^n}$$

donde n es el número de bits del DAC.

- 2) Si se quiere medir una escala de temperatura de 0-700 °C se deben relacionar esas $2^n = 1024$ divisiones con 700°C, encontrando el voltaje para cada 1°C, lo que se puede hacer a través de una sencilla "regla de tres", obteniendo que $V(1^\circ\text{C}) = \text{Voltaje de Referencia} / 700$.

- 3) Se deben comparar los valores hexadecimales obtenidos en la subrutina de adquisición de datos con los valores para la relación Voltaje Temperatura para el termopar Chromel Alumel publicada por CCR Press, en el Handbook of Chemistry and Physics 61th de 1980-1981, basada en la IPTS-48. Ejemplificando: Para 700°C, el valor obtenido por adquisición de datos (llamémosle X'), es $03FF_{16}$, el valor que presentan las tablas es de 29.14 mV (llamémosle X), por lo tanto se tiene $K(X') = X$, $K(03FF) = 29.14$, y de ahí $K^{-1} = 35.10$. Recordando la ecuación $T = m(KX') + b = m'(KX'/K) + b$ y sustituyendo la ecuación anterior, tenemos $T = mx + b$.

La Tabla 2-1 es una tabla de valores donde se muestra la recta adjudicada a cada intervalo, con sus correspondientes r^2 , r, m' , b' , el límite superior de cada uno de ellos, el valor de la $m' = m/K$, en decimal y en hexadecimal, así como el valor de b'_i en hexadecimal.

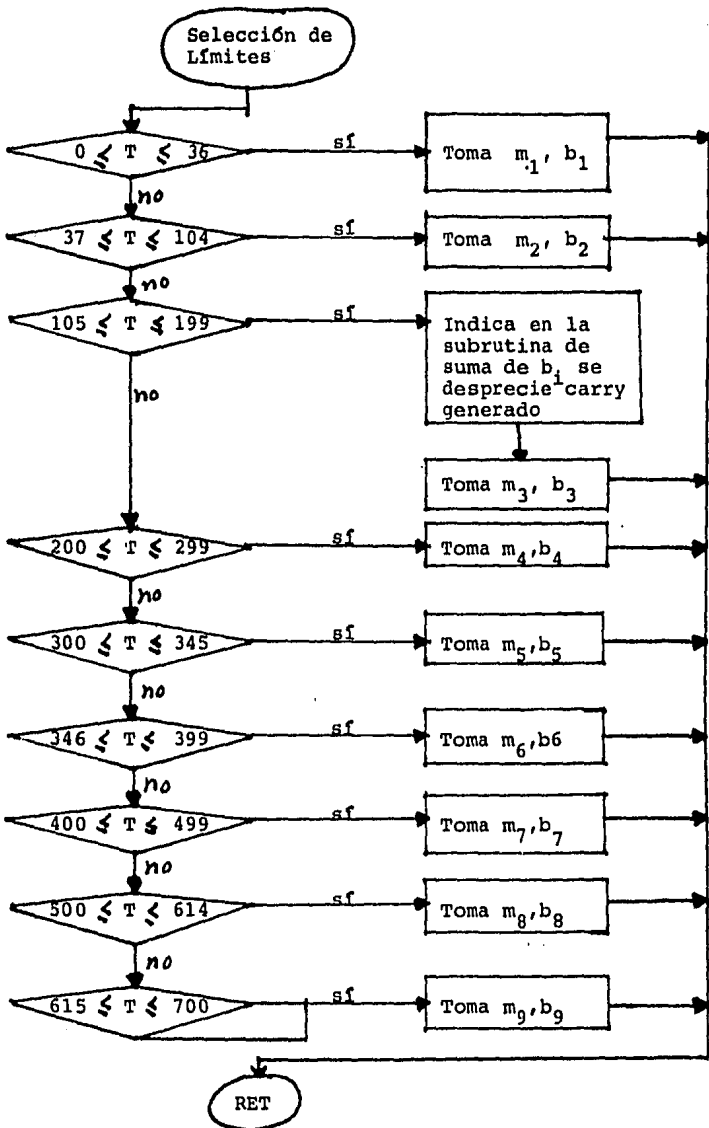


Fig. 2-4 Diagrama de Flujo de Subrutina de Selección de Límites.

TABLA 2-1

Intervalo de Temperatura	Recta	r^2	r	σ_m	σ_b	M/K(10 ³)	[M/K(10 ³)] _H	b _H
0 - 36	y=25X+00	1.000	+1	0.000	0.0000	712	2C8	00
37 - 104	y=24.11X+1.21	1.000	+1	0.0289	0.0826	687	2AF	04BA
105 - 199	y=24.88X-2.40	1.000	+1	0.0300	0.0080	709	2C5	06AB
200 - 299	y=24.50X+0.92	1.000	+1	0.0220	0.2330	698	2BA	0398
300 - 345	y=24.03X+6.59	1.000	+1	0.0357	0.0187	685	2AD	19BE
346 - 399	y=23.76X+10.43	1.000	+1	0.0257	0.3950	677	2A5	28BE
400 - 499	y=23.53X+14.32	1.000	+1	0.0200	0.0900	670	29E	37F0
500 - 614	y=23.45X+15.93	1.000	+1	0.0084	0.1900	668	029C	3E3A
615 - 700	y=23.69X+9.60	1.000	+1	0.0154	0.0046	674	02A3	2580

E- Subrutina de Multiplicación

Multiplica dos datos de 16 bits sin signo utilizando el método de rotación [6]. Obteniéndose un resultado de 32 bits.

La primera vez que se llama a esta subrutina, en 16 bits se tiene el multiplicador (pendiente (M_1/K)), y en otros 16 bits se tiene el multiplicando (X' , equivalente hexadecimal del voltaje del termopar), el resultado de 32 bits $(m/K)(x')$.

La segunda vez que se utiliza esta subrutina se van a multiplicar los dos bytes más significativos, de los 4, de $(M_1/K)(X')$, por su valor posicional entre 10. Un "1" en el bit 0 de estos dos bytes equivale a $10000_{16} = 65536_{10}$, como el microprocesador 8085 sólo puede efectuar multiplicaciones con operandos de 16 bits y tenemos 4 cifras significativas podemos dividir entre 10_{10} y multiplicar por $6553_{10} = 1999_{16}$. En las subrutinas siguientes se recupera ese valor. (Ver subrutina de Suma y Ajuste Decimales).

F- Subrutina de Suma de b_i

Se suma al producto $m_{iH} X_H$, la ordenada al origen tal que se forma $Y_H = m_{iH} + b_{iH}$, equivalente hexadecimal de la temperatura.

Esta subrutina es modificada por la de Selección de Límites utilizando indexación, ya que cuando se está trabajando con ordenadas al origen negativas se restan éstas utilizando el método del complemento a 2. El complemento a 2 de un número es el que se obtiene de su primer complemento y sumando a éste un 1, si en esta suma hubo "carry", éste se desprecia. Cuando se quiere restar un número de otro utilizando este método se obtiene el complemento a dos del primero, y éste se suma al segundo número.

Por lo que cuando se trabaja con ordenadas al origen negativas el "carry" generado en "Suma 2" (Ver secuencia de subrutina de suma de b_i) se desprecia y cuando se trabaja con ordenadas positivas sí se suma.

Secuencia de Suma de b_i

- 1- Suma 1: Se suman los 8 bits inferiores de la ordenada al origen con los 8 bits inferiores de $m_{iH}X_H$.
- 2- Suma 2: Se suman los 8 bits superiores de b_{iH} con los 8 bits siguientes de $m_{iH}X_H$, más el 'carry' de Suma 1.
- 3- Suma 3: En caso de no encontrarse en el 3er intervalo de temperatura, se suma el "carry" generado en Suma 2 con los 16 bits superiores de $m_{iH}X_H$, en caso contrario no se suma nada.
- 4- Retorna al Programa Principal.

G- Subrutina de Conversión

Es utilizada dos veces, la primera convierte de hexadecimal a decimal los 16 bits inferiores del equivalente hexadecimal de la temperatura y la segunda convierte los 16 bits superiores. (Ver subrutina de Multiplicación).

El método consiste en:

1) Investigar el número de veces que se puede restar al dato a convertir, la potencia máxima de 10 permisible en el número de bits con el que se está trabajando, o sea, si en cada conversión se trabaja con 16 bits, el rango del número resultante estará entre 0 y 65535, por lo que la potencia máxima de 10 será cuatro (10^4) y el número de dígitos que se obtendrán después de cada conversión será de cinco. Cada vez que se reste la potencia sin generar un préstamo se deberá incrementar en uno el contador de la potencia. Cuando la resta produzca un préstamo se debe restablecer el resultado parcial anterior a la última resta.

2) Se resta la potencia de 10 con orden una menor que en el paso anterior al resultado parcial, incrementándose el contador de la potencia en uno por cada resta efectuada que no genere préstamo. Cuando la resta genere un préstamo, se deberá restablecer el resultado parcial anterior a ésta última.

3) Repetir el paso dos, tantas veces hasta obtener las unidades.

4) Se tienen 5 dígitos al finalizar esta subrutina.

5) La manera en que se efectúa la resta es utilizando el método del complemento a 2.

H- Subrutina de Suma y Ajuste Decimales.

Cuando se llama a esta subrutina se tienen cinco dígitos resultado de la primera conversión que representan el valor decimal de los 16 bits inferiores de $y_H = m_{iH} X_H + b_{iH}$, donde T es la temperatura en °C y V es el voltaje en milivots.

Esta subrutina suma de manera decimal esos dos resultados; la máquina no puede hacerlo directamente puesto que trabaja de manera binaria pero cuenta con una instrucción DAA (Decimal Adjust Accumulator), que codifica 8 bits en su equivalente binario decimal (BCD). Ejemplo:

Antes		Después de DAA	
00001000	(08)	00001000	(08)
00001111	(0F)	00010101	(15)

Primeramente se recupera el valor posicional de los 16 dígitos superiores. Esto se hace al recordar que el sistema decimal es un sistema posicional y que si se le agrega a un cierto número un cero a su derecha y antes del punto decimal, ese número queda multiplicado por 10.

Se procede a sumar el segundo dígito menos significativo de la primera conversión con el primer dígito menos significativo de la segunda. Puesto que el resultado de esta suma puede ser mayor que 9, se efectúa el ajuste decimal utilizando DAA, se ve si hubo "carry" generado y en caso afirmativo se suma en la siguiente adición posicional que se realiza con el tercer dígito menos significativo de la primera conversión y el segundo menos significativo de la segunda y así sucesivamente.

De tal manera que se obtienen los valores correspondientes a centenas, decenas, unidades, décimas, centésimas y milésimas

de grado. Como disponemos de 4 dígitos significativos se consideran los 4 dígitos superiores del resultado anterior, los cuales al regresar al Programa Principal serán mostrados en la carátula del Sistema.

$$\begin{array}{rcccccc}
 & & P_4 & P_3 & P_2 & P_1 & P_0 \\
 + & S_4 & S_3 & S_2 & S_1 & S_0 & \dots\dots
 \end{array}$$

P_i Dígitos de la primera conversión

S_i Dígitos de la segunda conversión

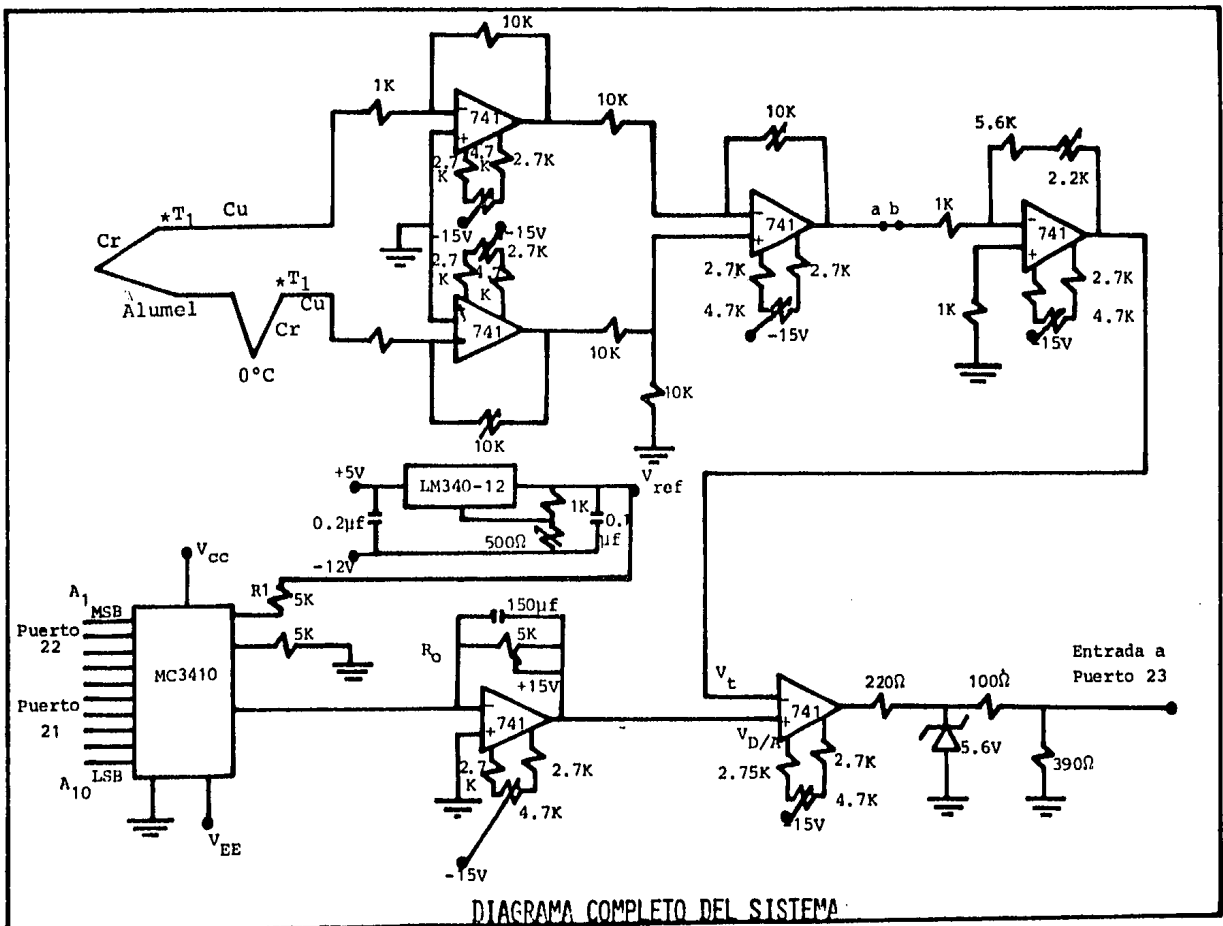


DIAGRAMA COMPLETO DEL SISTEMA

CAPITULO . 3

En este capítulo se describe la evaluación realizada al Sistema, algunos problemas y la manera en que se resolvieron, al igual que puntos en los que debe tenerse cuidado. Se compara el Sistema con aparatos comerciales.

Una primera evaluación del Sistema ha mostrado las características esenciales del mismo. Es necesario realizar una evaluación final para poder garantizar sus características completas, la que no se realizó por fuertes restricciones de tiempo. Citando a Preobrazhenski se encuentra que la manera en que se realizó dicha evaluación es aceptada: "las principales ventajas de los termómetros termoelectricos son: ... la posibilidad de registrar automáticamente la temperatura medida con un aparato registrador, la posibilidad de graduar el aparato de medición y el termómetro termoelectrico por separado". [13]

Aunque el Sistema cumple con los requerimientos de uso para el cual fue diseñado, pueden hacerse mejoras de tal manera que sea ampliamente versátil y se emplee en otras áreas con requerimientos similares.

La manera en que evaluó el Sistema fue la siguiente: Se simuló el voltaje del termopar ya amplificado, utilizando una fuente de voltaje Hewlett-Packard 6200B, cuyas características se presentan en el Apéndice. En la tabla de valores para la relación voltaje-temperatura para el termopar Cromel-Alumel, publicada por CCR Presss, en el Handbook of Chemistry and Physics 61th 1980-1981, basada en la Escala Internacional de Temperatura de 1948, se encuentra que a 0°C, le corresponde una fuerza electromotriz de 0.0 mV y a 700°C le corresponden 29.14 mV. Considerando que la ganancia del frente de entrada de amplificación es de 68.63, el voltaje del termopar ya amplificado

debe tomar valores entre 0 y 2 V. En la entrada inversora del comparador se colocaron voltajes en el intervalo mencionado, tomándose para cada valor de entrada de diferencias de potencial la correspondiente lectura de la temperatura en la carátula del Sistema. Se tomaron varios puntos en cada uno de los nueve intervalos en que se dividió el intervalo total de medición, encontrándose una exactitud mínima, para éste, de 1°C.

TABLA 3-1

Intervalo (°C)	Exactitud Mínima
0 - 36	0.85
37 - 104	0.90
105 - 199	0.80
200 - 299	0.80
300 - 345	1.00
346 - 399	0.80
400 - 499	1.00
500 - 614	1.00
615 - 700	1.00

Se realizó la prueba de corrimiento térmico de la manera siguiente: se colocó un foco de 100W a una altura aproximada de 20 cm. del Sistema. Para determinar la temperatura del ambiente donde operaba el Sistema se utilizó un termómetro de mercurio cuya escala es de 0-100°C, y cuya mínima división es de 1°C. Dicho termómetro se colocó sobre la tarjeta del SDK-85. Esta es una forma sencilla de realizar esta prueba e indica que puede haber un corrimiento de 0.7°C en la lectura de la carátula del Sistema si éste opera a temperaturas mayores que la ambiente.

Se encontraron diversos problemas a lo largo de la realización de este trabajo, la manera en que se resolvieron ha veni-

do a conformar la Tesis misma y a continuación se mencionarán algunos de ellos, así como algunos puntos de cuidado:

a) Se requiere que el voltaje de referencia del convertidos digital analógico sea estable. Para esto se utilizó un voltaje de referencia LM340-12 y una resistencia de precisión de 10 vueltas o "trim pot", formándose un divisor de voltaje que proporciona un voltaje de referencia para el convertidor de 2 Volts. El voltaje de deriva ("Voltage drift") es de 48 microvolts por 1000 horas y para una variación en el voltaje de alimentación de 14 a 30 Volts producirá una variación en el voltaje de salida de ± 120 mV máximo, o sea del 2%, teniendo una variación en el voltaje de referencia del DAC de un $2\% = 0.040V$. Existen otros circuitos integrados que proporcionan voltajes de precisión tales como LH0070, LH0075.

b) Se tuvieron problemas de oscilación en el frente de entrada debido a una mala soldadura en la segunda etapa. Esta fue una de las razones por las que ya no se evaluó el Sistema completo, ya que la construcción, armado y ajuste del mismo se realiza en aproximadamente dos semanas. Un punto importante sobre el ajuste a cero "offset" en este frente es el que se menciona en el Capítulo 2, en la sección referente a frente de amplificación: "Se hizo un puente a-b, ver diagrama completo del sistema, a fin de facilitar el control del "Offset", ya que cuando se calibra el "offset" del primer 747 puede afectar se el del segundo y viceversa. Con este procedimiento pueden calibrarse separadamente y una vez hecho lo anterior, se une dicho puente".

c) En la subrutina de adquisición de datos se hace uso de los puertos del 8155 que se han habilitado en el Programa Principal como puertos de salida, los puertos 21 y 22 de 8 bits cada uno. Dichos puertos tienen registros de almacenamiento o "latches", los cuales son "limpiados" cuando el puerto pasa a ser puerto de salida a puerto de entrada. En esta subrutina los

puertos de salida permanecen siendo puertos de salida y guardan la información de "1 lógicos" que llegue a ellos, por lo que es necesario "limpiarlos". La manera en que se hizo esto fue: una vez que se ha obtenido el valor decimal de la temperatura y mostrado en la carátula del Sistema se mandan "0 lógicos" a los "latches" del 8155, de tal manera que quedan listos para almacenar información fresca. Esta es una característica del 8155 y pueden observarse en el Apéndice 4 el conjunto de instrucciones en que se hace esta "limpieza de latches".

d) En la subrutina de adquisición de datos se hace uso del puerto 23 del 8155, también de 8 bits, como puerto de entrada, para sensar la salida del comparador. Deben hacerse las conexiones pertinentes del comparador al puerto de entrada en el bit 0 bits habilitados para tal función. En este trabajo se pregunta por el bit menos significativo (b_0), y también en el Apéndice 4 en la subrutina de adquisición de datos pueden observarse el conjunto de instrucciones utilizadas para esta operación.

e) Con respecto al DAC, también es importante señalar que debe realizarse la prueba de "Exactitud del Estado Estacionario" de la manera en que se menciona en el Capítulo 2, en dicha sección.

f) Fue de gran ayuda en el desarrollo inicial de este trabajo colocar unos diodos emisores de luz "leds", entre las terminales de los puertos de salida y tierra, ya que por medio de ellos fue posible probar la subrutina de adquisición de datos, la de retardo y solucionar el problema descrito en c).

Se considera que este Sistema es de gran versatilidad. Con ligeras modificaciones en el "Software" puede trabajar en intervalos diferentes de temperatura: 0-700°C, 0-1000°C, o el que se considere más conveniente. La determinación del intervalo de medición de temperatura está relacionado con la resolución del Sistema, mientras menor sea dicho intervalo, mayor la resolución asociada al mismo, e inversamente.

En este Sistema se tiene un DAC de 10 bits, y el intervalo

de medición es de 0-700°C. Se deben relacionar 2^{10} divisiones con esos 700 °C, encontrándose 1.46 divisiones por °C, sin embargo si se modifica el intervalo de medición de 0-200°C, esas 1024 divisiones se relacionaran de tal manera que a cada °C le correspondan 5.12 divisiones.

Si se desea trabajar con otro termopar que no sea el de Chromel Alumel puede hacerse modificando por "Software", la tabla de valores con las características del termopar en cuestión. (Ver capítulo 2, subrutina de selección de límites).

Las características del Sistema de acuerdo a la evaluación realizada son: su intervalo de medición es de 0-700°C, y su exactitud de $\pm 1^\circ\text{C}$.

"Si al medir la temperatura no se requiere alta exactitud y la temperatura del local en que se efectúan las mediciones no cambia sensiblemente, los extremos libres pueden permanecer a esa temperatura, pero en ese caso deben sumergirse en un recipiente de aceite cuya temperatura se controla con un termómetro de vidrio. Tal modo de mantener constante la temperatura de los extremos libres permite controlar la temperatura con un error de ± 0.2 a 0.5°C ". [14]

Considerando lo anterior la exactitud del Sistema sería de $\pm 1.7^\circ\text{C}$.

Comparando el Sistema desarrollado con el DM502A "Digital Multimeter" de la Hewlett Packard, que entre sus 7 funciones está la medición de la temperatura en un intervalo de -55 a +200 °C y su exactitud de -55 a +50 °C es de $\pm 2.5^\circ\text{C}$ y de +150 a +200°C es de $\pm 3.5^\circ\text{C}$, se encuentra que el Sistema tiene un intervalo mayor de medición y su exactitud es mayor que la de este aparato comercial. Comparando el Sistema con el 2804A "Quartz Thermometer", cuyo intervalo de medición es de -80 a +250 °C y su exactitud es de $\pm 0.040^\circ\text{C}$ de -50 a +150°C y de $\pm 0.075^\circ\text{C}$ de -80 a +250 °C, se encuentra que el Sistema desarrollado en esta Tesis, tiene un intervalo mayor

de medición aunque su exactitud relativa es menor en un orden de magnitud.

En un trabajo posterior, este Sistema podría implementarse con un convertidor digital analógico del 12 bits, lo que aumentaría su resolución. También las salidas de dicho convertidor podrían conectarse a una graficadora en el eje X, por ejemplo, y en el eje Y, fenómenos tales como la permeabilidad magnética. Una mejora al Sistema podría hacerse con la inclusión de un circuito que hiciera la corrección automática de la temperatura de los extremos libres de los termoelectrodos del termopar. O podría ponerse un circuito que sensará la temperatura a la cual se encuentran dichos extremos y posteriormente por Programa, hacer la corrección referente a dicha temperatura.

En base a este trabajo se puede decir que en México, se cuenta con los recursos materiales y humanos para desarrollar tecnología propia con el consecuente ahorro de divisas y reducción de dependencia externa.

Se considera que este trabajo es una puerta abierta para un mayor desarrollo en Sistemas de Adquisición de datos basados en Microprocesadores.

Lo que se considera de interés en esta Tesis es la actitud y método de trabajo seguidos en su realización que permite linealizar sistemas de Adquisición de Datos que utilicen diferentes tipos de transductores.

Parte de la motivación para la elaboración de esta Tesis en Instrumentación, es que se considera importante el desarrollo de tecnología propia por gente con ciertos antecedentes científicos.

Sin embargo, una opción de este tipo dentro de la Facultad de Ciencias de la UNAM, requiere de mayor apoyo tanto a nivel de desarrollo curricular, como de gente bien preparada en los laboratorios de docencia de la misma.



SDK-85 MCS-85™ SYSTEM DESIGN KIT

Complete single board microcomputer system including CPU, memory, and I/O

Large wire-wrap area for custom interfaces

Easy to assemble, low cost, kit form

Popular 8080A instruction set

Comprehensive system monitor software in ROM

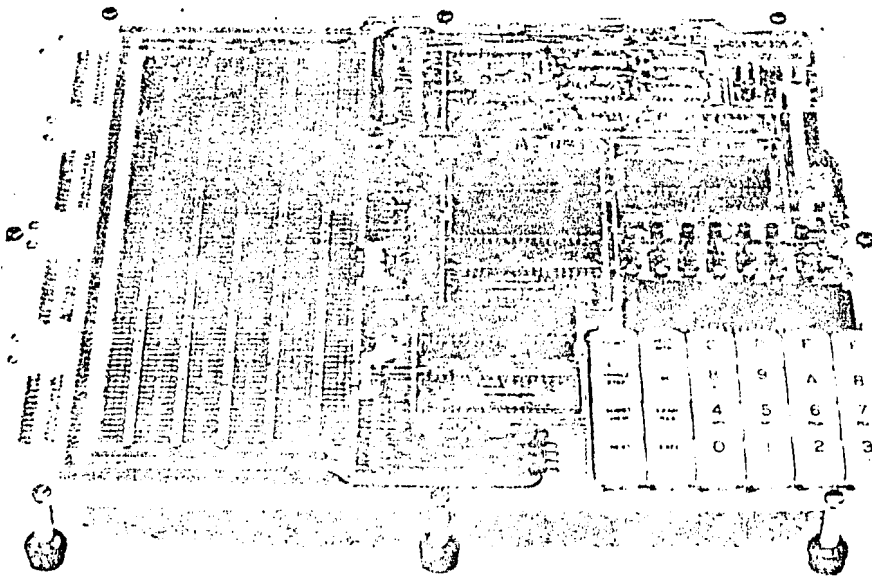
Interfaces directly with TTY

High performance 3 MHz 8085A CPU (1.3 μ s instruction cycle)

Interactive LED display and keyboard

Comprehensive design library included

SDK-85 MCS-85 System Design Kit is a complete single board microcomputer system in kit form. It contains all components required to complete construction of the kit, including LED display, keyboard, test pins, traps, crystal and miscellaneous hardware. Included is a preprogrammed ROM containing a system monitor for general software tests and system diagnostics. The complete kit includes a 6-digit LED display and a 24 key keyboard for a great interactive computer, and a complete set of assembly manuals. In addition, it can be directly interfaced with a teletype for use as a terminal in a large computer system. The SDK-85 is an easy-to-use, high performance prototype system that has designed a flexibility for complete use to your own applications.



FUNCTIONAL DESCRIPTION

The SDK-85 is a complete 8085A microcomputer system on a single board, in kit form. It contains all necessary components to build a useful, functional system. Such items as resistors, capacitors, and sockets are included. Assembly time varies from three to five hours, depending on the skill of the user. The SDK-85 functional block diagram is shown in Figure 7-9.

8085A Processor

The SDK-85 is designed around Intel's 8085A microprocessor. The Intel 8085A is a new generation, complete 8-bit parallel central processing unit (CPU). Its instruction set is 100% software upward compatible with the 8080A microprocessor, and it is designed to improve the present 8080A's performance by higher system speed. Its high level of system integration allows a minimum system of three IC's: 8085A (CPU), 8156 (RAM), and 8355/8755 (ROM/PROM). A block diagram of the 8085A microprocessor is shown in Figure 7-10.

System Integration — The 8085A incorporates all of the features that the 8224 (clock generator) and 8228 (system controller) provided for the 8080A, thereby offering a high level of system integration.

Addressing — The 8085A uses a multiplexed data bus. The 16-bit address is split between the 8-bit address bus and the 8-bit address/data bus. The on-chip address latches of 8155/8156/8355/8755 memory products allows a direct interface with the 8085A.

System Monitor

A compact but powerful system monitor is supplied with the SDK-85 to provide general software utilities and system diagnostics. It comes in a pre-programmed ROM.

Communications Interface

The SDK-85 communicates with the outside world through either the on-board LED display/keyboard combination, or the user's TTY terminal (Jumper selectable).

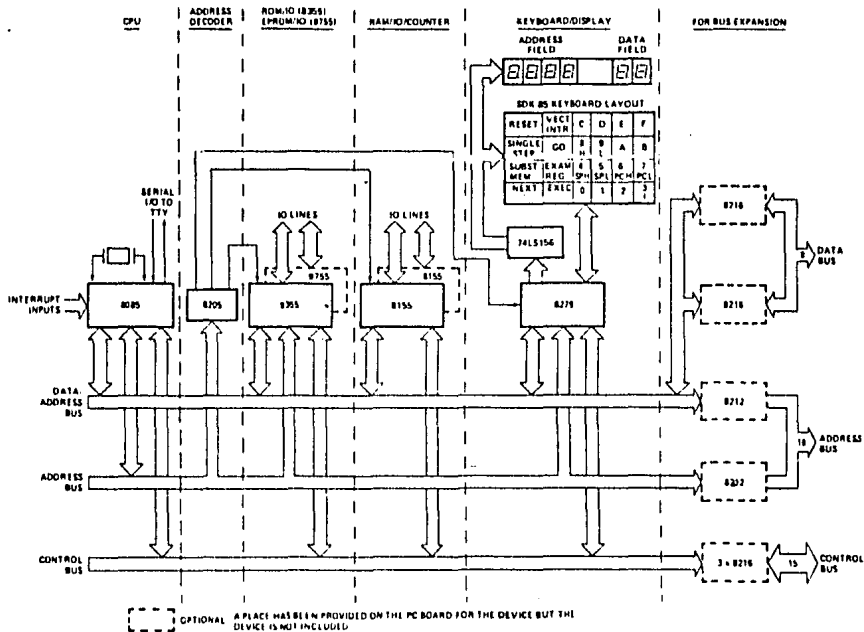


Figure 7-9. SDK-85 System Design Kit Functional Block Diagram

INSIDE THE 8085:

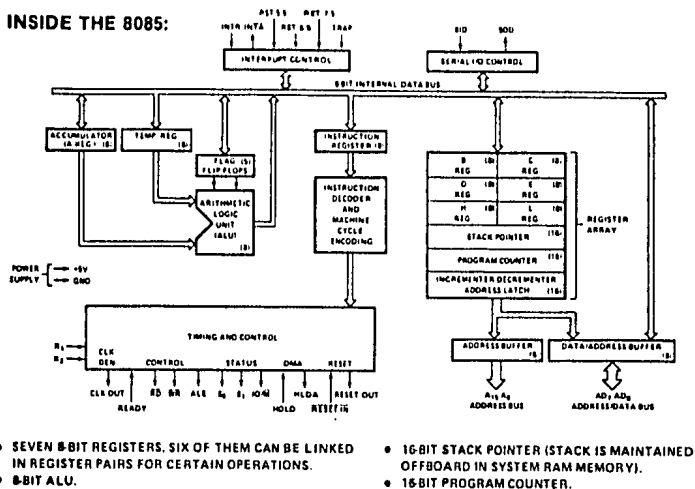


Figure 7-10. 8085A Microprocessor Block Diagram

Both memory and I/O can be easily expanded by simply soldering in additional devices in locations provided for this purpose. A large area of the board (45 sq. in.) is laid out as general purpose wire-wrap for the user's custom interfaces.

Assembly

Only a few simple tools are required for assembly; soldering iron, cutters, screwdriver, etc. The SDK-85 user's manual contains step-by-step instructions for easy assembly without mistakes. Once construction is complete, the user connects his kit to a power supply and the SDK-85 is ready to go. The monitor starts immediately upon power-on or reset.

Command	Operation
Reset	Starts monitor.
Go	Allows user to execute user program.
Single step	Allows user to execute user program one instruction at a time—useful for debugging.
Substitute memory	Allows user to examine and modify memory locations.
Examine register	Allows user to examine and modify 8085A's register contents.
Vector Interrupt	Serves as user interrupt button.

Table 7-5. Keyboard Monitor Commands

Commands — Keyboard monitor commands and teletype monitor commands are provided in Table 7-5 and Table 7-6, respectively.

Command	Operation
Display memory	Displays multiple memory locations.
Substitute memory	Allows user to examine and modify memory locations one at a time.
Insert instructions	Allows user to store multiple bytes in memory.
Move memory	Allows user to move blocks of data in memory.
Examine register	Allows user to examine and modify the 8085A's register contents.
Go	Allows user to execute user programs.

Table 7-6. Teletype Monitor Commands

Documentation

In addition to detailed information on using the monitors, the SDK-85 user's manual provides circuit diagrams, a monitor listing, and a description of how the system works. The complete design library for the SDK-85 is shown in Figure 7-11 and listed in the Specifications section under Reference Manuals.

SDK-85

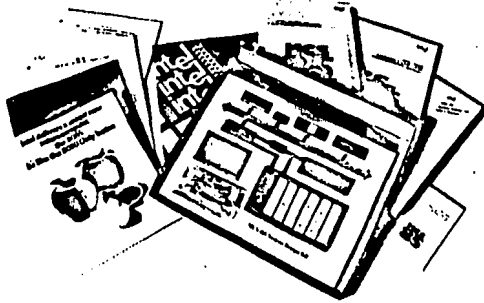


Figure 7-11. SDK-85 Design Library

8085A INSTRUCTION SET

Table 7-7 contains a summary of processor instructions used for the 8085A microprocessor.

Mnemonic ¹	Description	Instruction Code ²						Clock ³ Cycles	Mnemonic ¹	Description	Instruction Code ²						Clock ³ Cycles			
		D ₇	D ₆	D ₅	D ₄	D ₃	D ₂				D ₁	D ₀	D ₇	D ₆	D ₅	D ₄		D ₃	D ₂	D ₁
MOVE, LOAD, AND STORE								LXI SP	Load immediate stack pointer	0	0	1	1	0	0	0	1	10		
MOV r1r2	Move register to register	0	1	0	0	0	1	1	4	INX SP	Increment stack pointer	0	0	1	1	0	0	1	8	
MOV M r	Move register to memory	0	1	1	1	0	1	1	7	DCX SP	Decrement stack pointer	0	0	1	1	1	0	1	8	
MOV r M	Move memory to register	0	1	0	0	0	1	1	7	JUMP										
MVI r	Move immediate register	0	0	0	0	0	1	1	7	JMP	Jump unconditional	1	1	0	0	0	0	1	10	
MVI M	Move immediate memory	0	0	1	1	0	1	1	10	JC	Jump on carry	1	1	0	1	1	0	1	7/10	
LXI B	Load immediate register Pair B & C	0	0	0	0	0	0	1	10	JNC	Jump on no carry	1	1	0	1	0	1	0	7/10	
LXI D	Load immediate register Pair D & E	0	0	0	1	0	0	0	1	10	JZ	Jump on zero	1	1	0	0	1	0	1	7/10
LXI H	Load immediate register Pair H & L	0	0	1	0	0	0	0	1	10	JNZ	Jump on no zero	1	1	0	0	0	0	1	7/10
STAX B	Store A indirect	0	0	0	0	0	0	1	7	JP	Jump on positive	1	1	1	1	0	0	1	7/10	
STAX D	Store A indirect	0	0	0	1	0	0	1	7	JM	Jump on minus	1	1	1	1	1	0	1	7/10	
LDAX B	Load A indirect	0	0	0	0	1	0	1	7	JPE	Jump on parity even	1	1	0	1	0	1	0	7/10	
LDAX D	Load A indirect	0	0	0	1	1	0	1	7	JPO	Jump on parity odd	1	1	1	0	0	1	0	7/10	
STA	Store A direct	0	0	1	1	0	0	1	13	PCHL	H & L to program counter	1	1	1	0	1	0	1	8	
LDA	Load A direct	0	0	1	1	1	0	1	13	CALL										
SHLD	Store H & L direct	0	0	1	0	0	0	1	16	CALL	Call unconditional	1	1	0	0	1	1	0	1	18
LHLD	Load H & L direct	0	0	1	0	1	0	1	16	CC	Call on carry	1	1	0	1	1	0	0	9/18	
XCHG	Exchange D & E, H & L registers	1	1	1	0	1	0	1	4	CNC	Call on no carry	1	1	0	1	0	1	0	9/18	
STACK OPS								CZ	Call on zero	1	1	0	0	1	1	0	9/18			
PUSH B	Push register pair B & C on stack	1	1	0	0	0	1	0	12	CNZ	Call on no zero	1	1	0	0	0	1	0	9/18	
PUSH D	Push register pair D & E on stack	1	1	0	1	0	1	0	12	CP	Call on positive	1	1	1	0	1	0	0	9/18	
PUSH H	Push register pair H & L on stack	1	1	1	0	0	1	0	12	CM	Call on minus	1	1	1	1	1	0	0	9/18	
PUSH PSW	Push A and flags on stack	1	1	1	1	0	1	0	12	CPE	Call on parity even	1	1	1	0	1	1	0	9/18	
POP B	Pop register pair B & C off stack	1	1	0	0	0	0	1	10	CPO	Call on parity odd	1	1	1	0	0	1	0	9/18	
POP D	Pop register pair D & E off stack	1	1	0	1	0	0	1	10	RETURN										
POP H	Pop register pair H & L off stack	1	1	1	0	0	0	1	10	RET	Return	1	1	0	0	1	0	0	1	10
POP PSW	Pop A and flags off stack	1	1	1	1	0	0	1	10	RC	Return on carry	1	1	0	1	1	0	0	6/12	
XTHL	Exchange top of stack H & L	1	1	1	0	0	0	1	16	RNC	Return on no carry	1	1	0	1	0	0	0	6/12	
SPHL	H & L to stack pointer	1	1	1	1	0	0	1	8	RZ	Return on zero	1	1	0	0	1	0	0	6/12	
										RNZ	Return on no zero	1	1	0	0	0	0	0	6/12	
										RP	Return on positive	1	1	1	0	0	0	0	6/12	
										RM	Return on minus	1	1	1	1	0	0	0	6/12	

continued

SDK-85

Mnemonic ¹	Description	Instruction Code ²								Clock ³ Cycles	Mnemonic ¹	Description	Instruction Code ²								Clock ³ Cycles
		D ₇	D ₆	D ₅	D ₄	D ₃	D ₂	D ₁	D ₀				D ₇	D ₆	D ₅	D ₄	D ₃	D ₂	D ₁	D ₀	
RPE	Return on parity even	1	1	1	0	1	0	0	0	6/12	LOGICAL										
RPO	Return on parity odd	1	1	1	0	0	0	0	0	6/12	ANA r	And register with A	1	0	1	0	0	5	5	4	
RESTART										XRA r	Exclusive Or register with A	1	0	1	0	1	5	5	4		
RST	Restart	1	1	A	A	A	1	1	1	12	ORA r	Or register with A	1	0	1	0	5	5	4		
INCREMENT AND DECREMENT										CMP r	Compare register with A	1	0	1	1	5	5	4			
INR r	Increment register	0	0	D	D	D	1	0	0	4	ANA M	And memory with A	1	0	1	0	0	1	0	7	
DCR r	Decrement register	0	0	D	D	1	0	0	1	4	XRA M	Exclusive Or memory with A	1	0	1	0	1	1	0	7	
INR M	Increment memory	0	0	1	0	1	0	0	0	10	ORA M	Or memory with A	1	0	1	0	1	0	1	7	
DCR M	Decrement memory	0	0	1	0	1	0	0	1	10	CMP M	Compare memory with A	1	0	1	1	1	1	0	7	
INX B	Increment B & C registers	0	0	0	0	0	0	1	1	6	ANI	And immediate with A	1	1	1	0	0	1	1	7	
INX D	Increment D & E registers	0	0	0	1	0	0	1	1	6	XRI	Exclusive Or immediate with A	1	1	1	0	1	1	0	7	
INX H	Increment H & L registers	0	0	1	0	0	0	1	1	6	ORI	Or immediate with A	1	1	1	0	1	1	0	7	
DCX B	Decrement B & C registers	0	0	0	0	1	0	1	1	6	CPI	Compare immediate with A	1	1	1	1	1	1	0	7	
DCX D	Decrement D & E registers	0	0	0	1	0	1	0	1	6	ROTATE										
DCX H	Decrement H & L registers	0	0	1	0	1	0	1	1	6	RLC	Rotate A left	0	0	0	0	1	1	1	4	
ADD										RRC	Rotate A right	0	0	0	0	1	1	1	4		
ADD r	Add register to A	1	0	0	0	0	5	5	4	4	RAL	Rotate A left through carry	0	0	0	1	0	1	1	4	
ADC r	Add register to A with carry	1	0	0	0	1	5	5	4	4	RAR	Rotate A right through carry	0	0	0	1	1	1	1	4	
ADD M	Add memory to A	1	0	0	0	0	1	1	0	7	SPECIALS										
ADC M	Add memory to A with carry	1	0	0	0	1	1	1	0	7	CMA	Complement A	0	0	1	0	1	1	1	4	
ADI	Add immediate to A	1	1	0	0	0	1	1	0	7	STC	Set carry	0	0	1	0	1	1	1	4	
ACI	Add immediate to A with carry	1	1	0	0	1	1	1	0	7	CMC	Complement carry	0	0	1	1	1	1	1	4	
DAD B	Add B & C to H & L	0	0	0	0	1	0	0	1	10	DAA	Decimal adjust A	0	0	1	0	0	1	1	4	
DAD D	Add D & E to H & L	0	0	0	1	0	0	0	1	10	INPUT/OUTPUT										
DAD H	Add H & L to H & L	0	0	1	0	1	0	0	1	10	IN	Input	1	1	0	1	1	0	1	10	
DAD SP	Add stack pointer to H & L	0	0	1	1	1	0	0	1	10	OUT	Output	1	1	0	1	0	0	1	10	
SUBTRACT										CONTROL											
SUB r	Subtract register from A	1	0	0	1	0	5	5	4	4	EI	Enable interrupts	1	1	1	1	0	1	1	4	
SBB r	Subtract register from A with borrow	1	0	0	1	1	5	5	4	4	DI	Disable interrupts	1	1	1	0	0	1	1	4	
SUB M	Subtract memory from A	1	0	0	1	0	1	1	0	7	NOP	No-operation	0	0	0	0	0	0	0	4	
SBB M	Subtract memory from A with borrow	1	0	0	1	1	1	1	0	7	HLT	Halt	0	1	1	1	0	1	1	0	5
SUI	Subtract immediate from A	1	1	0	1	0	1	1	0	7	NEW 8085 INSTRUCTIONS										
SBI	Subtract immediate from A with borrow	1	1	0	1	1	1	1	0	7	RIM	Read interrupt mask	0	0	1	0	0	0	0	4	
										SIM	Set interrupt mask	0	0	1	1	0	0	0	4		

Notes

1. All mnemonics copyright © Intel Corporation 1977
2. DDD or SSS B=000 C=001 D=010 E=011 H=100 L=101 Memory=110 A=111
3. Two possible cycle times (6/12) indicates instruction cycles dependent on condition flags

Table 7-7. Summary of 8085A Processor Instructions

SPECIFICATIONS

Central Processor

CPU — 8085A

Instruction Cycle — 1.3 μs

Tcy — 330 ns

Memory

ROM — 2K bytes (expandable to 4K bytes) 8355/8755A

RAM — 256 bytes (expandable to 512 bytes) 8155

Addressing

ROM — 0000-07FF (expandable to 0FFF with an additional 8355/8755A)

RAM — 2000-20FF (2800-28FF available with an additional 8155)

Note

The wire-wrap area of the SDK-85 PC board may be used for additional custom memory expansion up to the 64K-byte addressing limit of the 8085A.

SDK-85

Input/Output

Parallel — 38 lines (expandable to 76 lines)

Serial — Through SID/SOD ports of 8085A. Software generated baud rate.

Baud Rate — 110

Interfaces

Bus — All signals TTL compatible

Parallel I/O — All signals TTL compatible

Serial I/O — 20 mA current loop TTY

Note

By populating the buffer area of the board, the user has access to all bus signals that enable him to design custom system expansions into the kit's wire-wrap area.

Interrupts

Three Levels

(RST 7.5) — Keyboard interrupt

(RST 6.5) — TTL input

(INTR) — TTL input

DMA

Hold Request — Jumper selectable. TTL compatible input.

Software

System Monitor — Pre-programmed 8755A or 8355 ROM

Addresses — 0000-07FF

Monitor I/O — Keyboard/display or TTY (serial I/O)

Physical Characteristics

Width — 12.0 in. (30.5 cm)

Height — 10 in. (25.4 cm)

Depth — 0.50 in. (1.27 cm)

Weight — approx. 12 oz

Electrical Characteristics

DC Power Requirement (power supply not included in kit)

Voltage	Current
VCC 5V \pm 5%	1.3A
VTTY - 10V \pm 10%	0.3A
(VTTY required only if teletype is connected)	

Environmental Characteristics

Operating Temperature — 0-55°C

Reference Manuals

9800451 — SDK-85 User's Manual (SUPPLIED)

9800366 — MCS-85 User's Manual (SUPPLIED)

9800301 — 8080/8085 Assembly Language Programming Manual (SUPPLIED)

8085/8080 Assembly Language Reference Card (SUPPLIED)

Reference manuals are shipped with each product only if designated SUPPLIED (see above). Manuals may be ordered from any Intel sales representative, distributor office or from Intel Literature Department, 3065 Bowers Avenue, Santa Clara, California 95051.

ORDERING INFORMATION

Part Number	Description
SDK-85	MCS-85 system design kit

APENDICE # 2

Descripción del Microprocesador 8085. Tomado de: "MCS 80-85. Family User's Manual". Intel 1979.

CHAPTER 2
8085A FUNCTIONAL DESCRIPTION

2.1 WHAT THE 8085A IS

The 8085A is an 8-bit general-purpose microprocessor that is very cost-effective in small systems because of its extraordinarily low hardware overhead requirements. At the same time it is capable of accessing up to 64K bytes of memory and has status lines for controlling large systems.

2.2 WHAT'S IN THE 8085A

In the 8085A microprocessor are contained the functions of clock generation, system bus control, and interrupt priority selection, in addition to execution of the instruction set. (See Figure 2-1.) The 8085A transfers data on an 8-bit, bi-directional 3-state bus (AD₀₋₇) which is time-multiplexed so as to also transmit the eight lower-order address bits. An additional eight lines (A₈₋₁₅) expand the MCS-85 system memory addressing capability to 16 bits, thereby allowing 64K bytes of memory to be accessed directly by the CPU. The 8085A CPU (central processing unit) generates control signals that can be used to select appropriate external devices and

functions to perform READ and WRITE operations and also to select memory or I/O ports. The 8085A can address up to 256 different I/O locations. These addresses have the same numerical values (00 through FFH) as the first 256 memory addresses; they are distinguished by means of the I/O/M output from the CPU. You may also choose to address I/O ports as memory locations (i.e., memory-map the I/O, Section 3.2).

2.2.1 Registers

The 8085A, like the 8080, is provided with Internal 8-bit registers and 16-bit registers. The 8085A has eight addressable 8-bit registers. Six of them can be used either as 8-bit registers or as 16-bit register pairs. Register pairs are treated as though they were single, 16-bit registers; the high-order byte of a pair is located in the first register and the low-order byte is located in the second. In addition to the register pairs, the 8085A contains two more 16-bit registers.

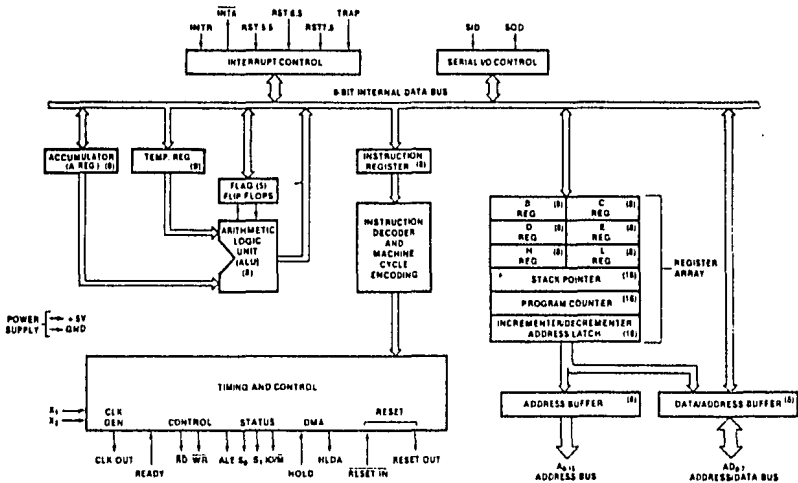


FIGURE 2-1 8085A CPU FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM

FUNCTIONAL DESCRIPTION

2.2.4 Arithmetic-Logic Unit (ALU)

The ALU contains the accumulator and the flag register (described in Sections 2.2.1 and 2.2.2) and some temporary registers that are inaccessible to the programmer.

Arithmetic, logic, and rotate operations are performed by the ALU. The results of these operations can be deposited in the accumulator, or they can be transferred to the internal data bus for use elsewhere.

2.2.5 Instruction Register and Decoder

During an instruction fetch, the first byte of an instruction (containing the opcode) is transferred from the internal bus to the 8-bit instruction register. (See Figure 2-1.) The contents of the instruction register are, in turn, available to the instruction decoder. The output of the decoder, gated by timing signals, controls the registers, ALU, and data and address buffers. The outputs of the instruction decoder and internal clock generator generate the state and machine cycle timing signals.

2.2.6 Internal Clock Generator

The 8085A CPU incorporates a complete clock generator on its chip, so it requires only the addition of a quartz crystal to establish timing for its operation. (It will accept an external clock input at its X_1 input instead, however.) A suitable crystal for the standard 8085A must be parallel-resonant at a fundamental of 6.25 MHz or less, twice the desired internal clock frequency. The 8085A-2 will operate with crystal of up to 10 MHz. The functions of the 8085A internal clock generator are shown in Figure 2-2. A Schmitt trigger is used interchangeably as oscillator or

as input conditioner, depending upon whether a crystal or an external source is used. The clock circuitry generates two nonoverlapping internal clock signals, ϕ_1 and ϕ_2 (see Figure 2-2). ϕ_1 and ϕ_2 control the internal timing of the 8085A and are not directly available on the outside of the chip. The external pin CLK is a buffered, inverted version of ϕ_1 . CLK is half the frequency of the crystal input signal and may be used for clocking other devices in the system.

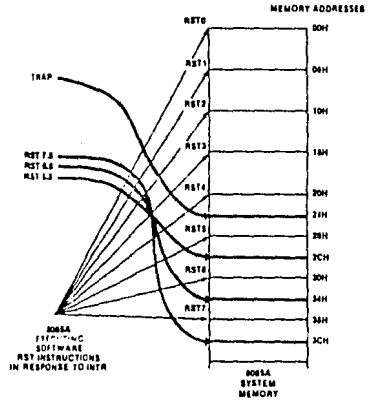
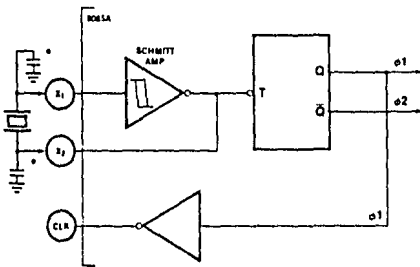


FIGURE 2-3 8085A HARDWARE AND SOFTWARE RST BRANCH LOCATIONS

2.2.7 Interrupts

The five hardware interrupt inputs provided in the 8085A are of three types. INTR is identical with the 8080A INT line in function; i.e., it is maskable (can be enabled or disabled by EI or DI software instructions), and causes the CPU to fetch in an RST instruction, externally placed on the data bus, which vectors a branch to any one of eight fixed memory locations (Restart addresses). (See Figure 2-3.) INTR can also be controlled by the 8259 programmable interrupt controller, which generates CALL instructions instead of RSTs, and can thus vector operation of the CPU to a preprogrammed subroutine located anywhere in your system's memory map. The RST 5.5, RST 6.5, and RST 7.5 hardware interrupts are different in function in that they are maskable through the use of the SIM



*EXTERNAL CAPACITORS REQUIRED ONLY FOR CRYSTAL FREQUENCIES ≤ 10 MHz.

FIGURE 2-2 8085A CLOCK LOGIC

FUNCTIONAL DESCRIPTION

instruction, which enables or disables these interrupts by clearing or setting corresponding mask flags based on data in the accumulator. (See Figure 2-4.) You may read the status of the interrupt mask previously set by performing a RIM instruction. Its execution loads into the accumulator the following information. (See Figure 2-5.)

- Current interrupt mask status for the RST 5.5, 6.5, and 7.5 hardware status.
- Current interrupt enable flag status (except that immediately following TRAP, the IE flag status preceding that interrupt is loaded).
- RST 5.5, 6.5, and 7.5 interrupts pending.

RST 5.5, 6.5, and 7.5 are also subject to being enabled or disabled by the EI and DI instructions, respectively. INTR, RST 5.5, and RST 6.5 are level-sensitive, meaning that these inputs may be acknowledged by the processor when they are held at a high level. RST 7.5 is edge-sensitive, meaning that an internal flip-flop in the 8085A registers the occurrence of an interrupt the instant a rising edge appears on the RST 7.5 input line. This input need not be held high; the flip-flop will remain set until it is cleared by one of three possible actions:

- The 8085A responds to the interrupt, and sends an internal reset signal to the RST 7.5 flip-flop. (See Figure 2-6A.)

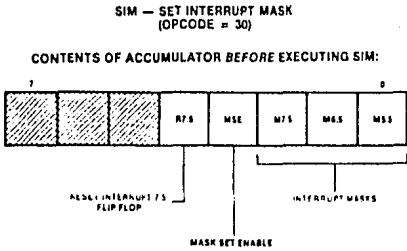


FIGURE 2-4 INTERRUPT MASKS SET USING SIM INSTRUCTION

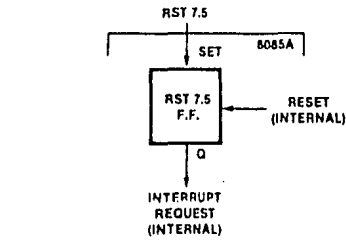


FIGURE 2-6A RST 7.5 FLIP FLOP

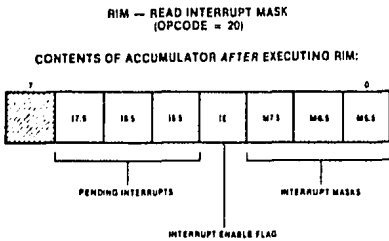


FIGURE 2-5 RIM — READ INTERRUPT MASK

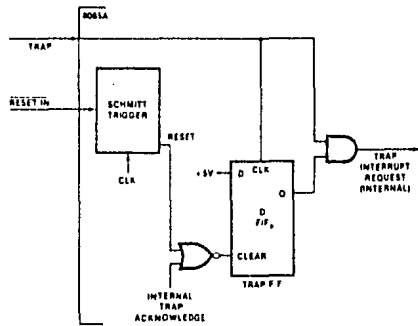


FIGURE 2-6B TRAP INTERRUPT INPUTS

FIGURE 2-6 RST 7.5 AND TRAP INTERRUPT INPUTS

FUNCTIONAL DESCRIPTION

- The 8085A, before responding to the RST 7.5 interrupt, receives a RESET IN signal from an external source; this also activates the internal reset.
- The 8085A executes a SIM instruction, with accumulator bit 4 previously set to 1. (See Figure 2-4.)

The third type of hardware interrupt is TRAP. This input is not subject to any mask or interrupt enable/disable instruction. The receipt of a positive-going edge on the TRAP input triggers the processor's hardware interrupt sequence, but the pulse must be held high until acknowledged internally (see Figure 2-6B).

The sampling of all interrupts occurs on the descending edge of CLK, one cycle before the end of the instruction in which the interrupt input is activated. To be recognized, a valid interrupt must occur at least 160 ns before sampling time in the 8085A, or 150 ns in the 8085A-2. This means that to guarantee being recognized, RST 5.5 and 6.5 and TRAP need to be held on for at least 17 clock states plus 160 ns (150 for 8085A-2), assuming that the interrupt might arrive just barely too late to be acknowledged during a particular instruction, and that the following instruction might be an 18-state CALL. This timing assumes no WAIT or HOLD cycles are used.

The way interrupt masks are set and read is described in Chapter 4 under the RIM (read in-

terrupt mask) and SIM (set interrupt mask) instruction listings. Interrupt functions and their priorities are shown in the table that follows.

Name	Priority	Address (1) Branched to when inter- rupt occurs	Type Trigger
TRAP	1	24H	Rising edge AND high level until sampled
RST 7.5	2	3CH	Rising edge (latched)
RST 6.5	3	34H	High level until sam- pled
RST 5.5	4	2CH	High level until sam- pled
INTR	5	(2)	High level until sam- pled

NOTES:

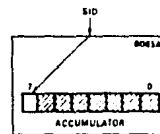
- (1) In the case of TRAP and RST 5.5-7.5, the contents of the Program Counter are pushed onto the stack before the branch occurs.
- (2) Depends on the instruction that is provided to the 8085A by the 8259 or other circuitry when the interrupt is acknowledged.

2.2.8 Serial Input and Output

The SID and SOD pins help to minimize chip count in small systems by providing for easy interface to a serial port using software for timing and for coding and decoding of the data. Each time a RIM instruction is executed, the status of the SID pin is read into bit 7 of the accumulator. RIM is thus a dual-purpose instruction. (See Chapter 4.) In similar fashion, SIM is used to latch bit 7 of the accumulator out to the SOD output via an internal flip-flop, providing that bit 6 of the accumulator is set to 1. (See Figure 2-7.) Section 2.3.8 describes SID and SOD timing.

SID can also be used as a general purpose TEST input and SOD can serve as a one-bit control output.

EFFECT OF RIM INSTRUCTION



EFFECT OF SIM INSTRUCTION

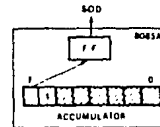


FIGURE 2-7 EFFECT OF RIM AND SIM INSTRUCTIONS ON SERIAL DATA LINES

APENDICE # 3

Características de los aparatos utilizados en la evaluación del Sistema.

Fuente de Voltaje 6200B, de Hewlett Packard:

- Estabilidad: Se garantiza un voltaje constante con una precisión del 0.10%, más 5mV de deriva total por 8 horas después de un tiempo inicial de 30 minutos en un ambiente constante, línea de voltaje constante y carga constante.
- Impedancia interna como fuente de voltaje constante: menos de 0.02 ohms desde DC hasta 1 Kc; menos de 0.5 ohms desde 1Kc hasta 100 Kc; menos de 3.0 ohms desde 100Kc hasta 1Mc.

Multímetro

"Frontspiece" Modelo 935 Data Precisión.

DC Volts

Intervalo Nominal	Valor máximo mostrado en la cartula	Resolución
100 mV _{DC}	± 199.9	100 V
1.000 V _{DC}		1 mV
10.00 V _{DC}		10 mV
100.0 V _{DC}	± 199.9	100 mV
1000.0 V _{DC}	± 1000.0	1 V

- Impedancia de Entrada: 100 Mohms para todos los rangos.
- Voltaje máximo ± 1000 V_{DC}
- Exactitud (1 año, 23°C, $\pm 5^\circ\text{C}$): $\pm 1\%$ entrada + d.m.s.

Multímetro

"Frontispiece" Modelo 945 Data Precisión

DC Volts

Intervalo Nominal	Valor máximo mostrado en la carátula	Resolución
200 mV _{DC}	<u>+</u> 199.99	10 V
2 V _{DC}	<u>+</u> 199.99	100 V
20 V _{DC}	<u>+</u> 19.999	1 mV
200V _{DC}	<u>+</u> 199.99	10 mV
1000 V _{DC}	<u>+</u> 1000.0	100 mV

- Impedancia de Entrada 10 Mohms para todos los rangos

- Exactitud(1 año, 23°C ±5°C):

Intervalo de 20 mV: ± 0.05% de la entrada + 2d.m.s.

Intervalo de 2V: ± 0.05% de la entrada + 1 d.m.s.

Intervalos de 20,200 y 1000 V: ± 0.07% de la entrada + 1 d.m.s.

Termómetro

BCR intervalo de 0-100°C. Resolución ±1°C.

APENDICE # 4

Estos son los programas que deben ser grabados en la EPROM 2716, a partir de la dirección 0800₁₆.

DESCRIPCION DEL PROGRAMA

PROGRAMA PRINCIPAL

LOCALIDAD	CODIGO DE MAQUINA	ETIQUETA	MNEMONICO	COMENTARIOS
0800	3E03	INI	MVI A, 03	Inicialización Puertos
0802	D320		OUT 20	
0804	31C220		LXI S.P. 20C2	Inicialización Stack Pointer
0807		PREP	SUB A	Adquisición Datos
0808	210D20		LXI H, 200D	Primer Byte
080B	3622		MVI M, 22	No. Puerto Salida
080D	110420		LXI D, 2004	
0810	3E02		MVIA 02	
0812	321420		STA 2014	
0815			MOV C, A	
0816	CD F908		CALL ADQ	Llamada Adquisición Datos
0819			INR E	
081A			DCR M	
081B	3E08		MVI A, 08	
081D	322014		STA 2014	
0820	0E80		MVI C, 80	
0822	CD5920		CALL ADQ	Llamada a Adquisición
0825			LDAX D	
0826			MOV E, A	Se guarda el equivalente hexadecimal
0827	3A0420		LDA 0420	
082A			MOV D, A	
082B	CD8108		CALL LIMITES	Selecciona b _i y m _i
082E	CD B508		CALL MULTIPLI	Obtiene m _i X _{TH} ⁱ
0831	CD DB08		CALL SUMA	Obtiene m _i X _{TH} ⁱ + b _i
0834	CD F708		CALL CONV	Conversion Bytes inferiores
0837	2A0020		LHLD 2000	
083A	019919		LXI B, 1999 ₁₆	
083D			XCHC	
083E	CD B508		CALL MULTIPLI	
0841			MOV E, C	
0842			MOV D, B	
0843	211320		LXI H, DIEZ	
0846	CD F708		CALL CONV	Conversion Bytes superiores
0849	CD3609		CALL DAA	
084C	31C220		LXI S.P. 20C2	Suma y ajuste decimales

LUGAR MEXICO, D.F.

DISEÑO PATRICIA NERI

DESCRIPCION DEL PROGRAMA

ADQUISICION DE DATOS

LOCALIDAD	CODIGO DE MAQUINA	ETIQUETA	MNEMONICO	COMENTARIOS	
0 8 5 9		4 1	ADQ	MOV B,C	Inicialización
0 8 5 A		9 7		SUB A	Limpieza
0 8 5 B		B0	SIGA	ORA B	Bit a probar más
0 8 5 C		4 F		MOV C,A	suma de los probados
0 8 5 D	C D 0 5 0 9			CALL PUERTOS	anteriormente
0 8 6 0		D B 2 3		IN 23	Entra el resultado de
0 8 6 2		E 6 0 1		ANI 01	la comparación V _T y
0 8 6 4	C A 6 A 0 8			JZ OK	V
0 8 6 7		7 9		MOV A, C	D/A. Si V _{D/A} va a OK, sino se res
0 8 6 8		9 0		SUB B	ta el valor del últi
0 8 6 9		4 F		MOV C,A	mo sumado.
0 8 6 A		7 8	OK	MOV A,B	Se pone en "1" el si
0 8 6 B		1 F		RAR	guiente bit a probar.
0 8 6 C		4 7		MOV B,A	
0 8 6 D	3 A 1 4 2 0			LDA 2014	Se decrementa el nú
0 8 7 0		3 D		DCR A	mero de rotaciones,
0 8 7 1	C A 7 B 0 8			JZ FIN	cuando se han proba
0 8 7 4	3 2 1 4 2 0			STA 2014	dado todos los bits
0 8 7 7		7 9		MOV A,C	se va a FIN.
0 8 7 8	C 3 5 B 0 8			JMP SIGA	
0 8 7 B		7 9	FIN	MOV A,D	Se almacena el valor
0 8 7 C		1 2		STAX D	de V _T .
0 8 7 D	C D 0 5 0 9			CALL PUER	Salida a Puertos
0 8 8 0		C 9		RET	Retorno al Programa
					Principal.

LUGAR

MEXICO, D.F.

DISÑO

PATRICIA NERI

DESCRIPCION DEL PROGRAMA

SELECCION DE LIMITES

LOCALIDAD	CODIGO DE MAQUINA	ETIQUETA	MNEMONICO	COMENTARIOS
0881	2 1 7 0 0 9	INI 2	LXI H, 0970	Apunta Tabla de Valo
0884	7 E	OTR 2	MOV A, M	res. Comparación de
0885	9 3		SUB E	x' y del límite su-
0886	2 B		DCX H	perior del intervalo
0887	7 E		MOV A, M	de temperatura.
0888	9 A		SBB D	Si X' Lim, va a
0889	D 2 9 3 0 8		JNC CARBI	comparar a Limite
088C	0 1 0 7 0 0		LXI B, 0700	siguiente, sino se
088F	0 9		DAD B	prepara para tomar
0890	C 3 8 4 0 8		JMP OTR 2	b ₁ y m ₁ .
0893	2 3	CARBI	INX H	
0894	2 3		INX H	
0895	3 E D 8		MVIA, DB	En esta parte se con
0897	0 1 E F 0 8		STAX B	sidera que b ₃ es me
089A	B D		CMP L	nor que 0, y que no
089B	C 2 A 4 0 8		JNZ SIGI	debe sumarse el carry
089E	3 E 8 5		MVI A, 85	Se indexa a Subruti
08A0	0 2		STAX B	na de Suma de b ₁ pa
08A1	C 3 A 7 0 8		JMP SIG2	ra cambiar ADCI. por
08A4	3 E 8 D	SIGI	MVIA, 8 D	ADDI
08A6	0 2		STAX B	
08A7	7 E	SIG2	MOV A, M	Se toma el valor b ₁
08A8	3 2 1 5 2 0		STA DGBIS	
08AB	2 3		INX H	
08AC	7 E		MOV A, M	
08AD	3 2 1 6 2 0		STA DGBII	
08B0	2 3	MI	INX H	Se toma el valor
08B1	4 6		MOV B, M	de M ₁
08B2	2 3		INX H	
08B3	4 E		MOV C, M	
08B4	C 9		RET	Retorno al programa Principal.

LUGAR MEXICO, D.F.

DISEÑO PATRICIA NERI

DESCRIPCION DEL PROGRAMA MULTIPLICACION

LOCALIDAD	CODIGO DE MAQUINA	ETIQUETA	MNEMONICO	COMENTARIOS
08B5	210000	MULT	LXI H, 0000	Limpia el registro
08B6	3E11		MVIA, 11	donde se guarda
08BA	321420		STA 2014	parte superior del resultado.
				Contador de Iteraciones.
08BD	78	MULTO	MOV A,B	Rota el multiplicador a finde que el bit a multiplicar se cargue en el carry.
08BE	1F		RAR	
08BF	4F		MOV C,A	
08C0	79		MOV A,C	
08C1	1F		RAR	
08C2	4F		MOV C,A	
08C3	3A1420		LDA 2014	Decrementa el contador de iteraciones,
08C6	3D		DCR A	si ya hubo 1610 veces TERM
08C7	CADA08		JZ TERM	
08CA	321420		STA 2014	
08CD	D2D108		JNC NOSUM	
08D0	19		DAD D	
08D1	7C	NOSUM	MOV A,H	Si el carry es 1 se suma el multiplicando a la parte alta del resultado, sino se suman ceros.
08D2	1F		RAR	
08D3	67		MOV H,A	
08D4	7D		MOV A,L	
08D5	1F		RAR	
08D6	6F		MOV L,A	
08D7	C3BD08		JMP MULTO	
08DA	C9	TERM	RET	Retorno al Programa Principal.

LUGAR MEXICO, D.F.

DISEÑO PATRICIA NERI

DESCRIPCION DEL PROGRAMA

SUMA DE BI

LOCALIDAD	CODIGO DE MAQUINA	ETIQUETA	MNEMONICO	COMENTARIOS
08DB	E600	SUMBI	ANI 00	Limpia carry
08DD	3A1620		LDA DGBII	Suma el byte inf.
08E0	81		ADD C	de b_i , al byte inf.
08E1	4F		MOV C,A	de $m_i x$.
08E2	3E00		MVIA, 00	Guarda carry generad
08E4	17		RAL	
08E5	57		MOV D,A	
08E6	E600		ANI 00	Limpia carry
08E8	3A1520		LDA DGBIS	
08EB	80		ADD B	Suma el byte sup.
08EC	82		ADD D	de b_i al byte sup.
08ED	3E00		MVIA, 00	de $m_i x$.
08EF	8D		ADC L	Si $b_i = 0$, no suma
08F0	6F		MOV L,A	carry, sino sí suma
08F1	220020		SHLD 2000	carry.
08F4	50		MOV D,B	Guarda bytes supe-
08F5	59		MOV E,C	riores de $m_i x + b_i$.
08F6	C9		RET	Retorno Programa Principal

LUGAR

MEXICO, D.F.

DISEÑO

PATRICIA NERI

DESCRIPCION DEL PROGRAMA

CONVERSION DE HEXADECIMAL A DECIMAL

LOCALIDAD	CODIGO DE MAQUINA	ETIQUETA	MNEMONICO	COMENTARIOS
08F7	210E20	CONV	LXIH, DIEZMI	Dirección almacenan
08FA	3600	DIEZM2	MVIM,00	dígitos decimales
08FC	01F0D8	DIEZM	LXI B, 0 D 8 F	Valor posicional de
08FF	011609		CALL BUSCA	cenas de miles
0902	0118FC	MIL	LXIB, 0FC18	Valor posicional de
0905	CD1609		CALL BUSCA	miles.
0908	019CFF	CIEN	LXIB, 0FF9C	Valor posicional de
090B	CD1609		CALL BUSCA	centenas
090E	01F6FF	DIEZ	LXIB, 0FF6	Valor posicional de
0911	CD1609		CALL BUSCA	decenas.
0914			MOV M,E	Guarda valor unidades
0915			RET	Retorno programa Principal
0916	220220	BUSCA	SHLD 2002	Encuentra el # de
0919	EB		XCHG	veces que el número
091A	09		DAD B	a convertir contiene
091B	D22609		JNC SUMC	de unidades, centenas
091E	EB		XCHG	decenas, miles y de
091F	2A0220		LHLD 2002	cenas de miles a tra
0922	34		INR M	vés de restas posi
0923	C31609		JMP BUSCA	cionales.
0926	79	SUMAC	MOV A,C	Si se efectua una
0927	2F		CMA	resta que da por re
0928	5F		MOV E,A	sultado un número n
0929	78		MOV A,B	gativo, se le rein-
092A	2F		CMA	tegra el número re
092B	5F		MOV D,A	tado y se va a efec
092C	13		INX D	tuar la resta info
092D	19		DAD D	rior posicional si
092E	EB		XCHG	guiente.
092F	2A0220		LHLD 2002	
0932	2B		DCX H	
0933	3600		MVI M,00	
0935	C9		RET	

LUGAR

MEXICO, D.F.

DISEÑO

PATRICIA NERI

DESCRIPCION DEL PROGRAMA

SUMA POSICIONAL Y AJUSTE DECIMAL (DAA)

LOCALIDAD	CODIGO DE MAQUINA	ETIQUETA	MNEMONICO	COMENTARIOS
0936	210720		LXIH, 2007	Señala donde se en-
0939	110F20		LXID, 200F	cuentran resultados
				de las dos conversio-
				nes
093C	0604		MVI B, 04	Nº. de Iteraciones
093E	1A		LDAX D	Suma posicional y
093F	23	OTRAS	INX H	ajuste decimal
0940	86		ADD M	
0941	27		DAA	
0942	12		STAX D	
0943	E610		ANI 10	
0945	CA4B09		JZ SUMOO	
0948	97		SUB A	
0949	3E01		MVIA, 01	
094B	77	SUMOO	MOV M,A	
094C	1A		LDAX D	
094D	E60F		ANI OF	
094F	12		STAX D	
0950	1C		INR E	
0951	1A		LDAX D	
0952	86		ADD M	
0953	05		DCR B	Decrementa # de
0954	C23F09		JNZ OTRAS	Iteraciones
0957	12		STAX D	
0958	EB		XCHG	
0959	7E		MOV A,M	Ordena los valores
095A	07		RLC	correspondientes a
095B	07		RLC	centenas, decenas,
095C	97		RLC	unidades y décimas
095D	07		RLC	de grado en orden
095E	E6F0		ANI FO	descendente en 2 by
0960	2D		DCR L	tes a fin de ser
0961	B6		ORA M	mostrados en la car5
0962	57		MOV D,A	tula del Sistema.
0963	2D		DCRL	
0964	7E		MOV A,M	

LUGAR

MEXICO, D. F.

DISEÑO

PATRICIA NERI

DESCRIPCION DEL PROGRAMA

CONTINUACION SUMA POSICIONAL Y AJUSTE DECIMALES

LOCALIDAD	CODIGO DE MAQUINA	ETIQUETA	MNEMONICO	COMENTARIOS
0 9 6 5		0 7	RLC	
0 9 6 6		0 7	RLC	
0 9 6 7		0 7	RLC	
0 9 6 8		0 7	RLC	
0 9 6 9	E 6	F 0	ANI FO	
0 9 6 B		2 D	DCR L	
0 9 6 D		5 F	MOV E,A	
0 9 6 E		C 9	RET	Retorno Programa Principal

LUGAR MEXICO, D. F.

DISEÑO PATRICIA NERI

DESCRIPCION DEL PROGRAMA

VALORES DE LOS LIMITES SUPERIORES DE
CADA UNO DE LOS 9 INTERVALOS , DE B_I, DE (M_I/K)

LOCALIDAD	CODIGO DE MAQUINA	ETIQUETA	MNEMONICO	COMENTARIOS
09 6 F		0 0 32	l ₁	0 ≤ T ≤ 36 °C
0 9 71		0 0 0 0	b ₁	
0 9 73		0 2 C8	m ₁	
0 9 75		0 0 9 6	l ₂	37 ≤ T ≤ 104 °C
0 9 77		04 B A	b ₂	
0 9 79		0 2 A F	m ₂	
0 9 7 B		0 1 8 0	l ₃	105 ≤ T ≤ 159 °C
0 9 7 D		F 6 A 0	b ₃	
0 9 7 F		0 2 C 5	m ₃	
0 9 8 1		01 A B	l ₄	200 ≤ T ≤ 299 °C
0 9 8 3		0 3 9 8	b ₄	
0 9 8 5		0 2 B A	m ₄	
0 9 8 7		0 1 E F	l ₅	300 ≤ T ≤ 345 °C
0 9 8 9		1 9 B E	b ₅	
0 9 8 B		0 2 A D	m ₅	
0 9 8 D		0 2 J E	l ₆	346 ≤ T ≤ 399 °C
0 9 8 F		2 8 B E	b ₆	
0 9 9 1		0 2 A 5	m ₆	
0 9 9 3		0 2 D 3	l ₇	400 ≤ T ≤ 499 °C
0 9 9 5		3 7 F 0	b ₇	
0 9 9 7		0 2 9 E	m ₇	
0 9 9 9		0 3 8 1	l ₈	500 ≤ T ≤ 615 °C
0 9 9 B		3 E 3 A	b ₈	
0 9 9 D		0 2 9 C	m ₈	
0 9 9 F		0 3 F F	l ₉	616 ≤ T ≤ 700 °C
0 9 A 1		2 5 8 0	b ₉	
0 9 A 3		0 2 A 3	m ₉	

LUGAR

MEXICO, D. F.

DISEÑO

PATRICIA NERI

DESCRIPCION DEL PROGRAMA

SALIDA A PUERTOS Y RETARDO

LOCALIDAD	CODIGO DE MAQUINA	ETIQUETA	MNEMONICO	COMENTARIOS
09 A5		D5	FUER D	SALVA REGISTRO
09 A6	321720		STA 2017	SALVA VD/A
09 A9	3ED3		MVI A, D3	TONE EN RAM
09 AB	11DB20		LXI D, 20DB	LO CORRESPONDIENTE A SALIDA FUER
09 AE		12	STAX D	
09 AF		13	INX D	TOS
09 B0		7E	MOV A, M	
09 B1		12	STAX D	
09 B2		13	INX D	
09 B3	3EC9		MVI A, C9	
09 B5		12	STAX D	RECUPERA VD/A
09 B6	3A1720		LDA 2017	SALIDA A PUERTOS
09 B9	CD0720		CALL 2007	
09 BC	11FF03		LXI D, 03FF	RETARDO
09 BF	CDP105		CALL DELAY	
09 C2		D1	POP D	
09 C3		C9	RET	RETORNO AL PROGRAMA POR EL QUE FUE LLAMADA.

LUGAR

MEXICO, D.F.

DISEÑO

PATRICIA NERI

GLOSARIO

"Introducción a las funciones de una Computadora"

Tomado del: "MCS 80-85. Family User's Manual". Intel 1979.

CHAPTER 1 PART 1: INTRODUCTION TO THE FUNCTIONS OF A COMPUTER

This chapter introduces certain basic computer concepts. It provides background information and definitions which will be useful in later chapters of this manual. Those already familiar with computers may skip this material, at their option.

A TYPICAL COMPUTER SYSTEM

A typical digital computer consists of:

- a) A central processor unit (CPU)
- b) A memory
- c) Input/output (I/O) ports

The memory serves as a place to store instructions, the coded pieces of information that direct the activities of the CPU, and Data, the coded pieces of information that are processed by the CPU. A group of logically related instructions stored in memory is referred to as a Program. The CPU "reads" each instruction from memory in a logically determined sequence, and uses it to initiate processing actions. If the program sequence is coherent and logical, processing the program will produce intelligible and useful results.

The memory is also used to store the data to be manipulated, as well as the instructions that direct that manipulation. The program must be organized such that the CPU does not read a non-instruction word when it expects to see an instruction. The CPU can rapidly access any data stored in memory; but often the memory is not large enough to store the entire data bank required for a particular application. The problem can be resolved by providing the computer with one or more Input Ports. The CPU can address these ports and input the data contained there. The addition of input ports enables the computer to receive information from external equipment (such as a paper tape reader or floppy disk) at high rates of speed and in large volumes.

A computer also requires one or more Output Ports that permit the CPU to communicate the result of its processing to the outside world. The output may go to a display, for use by a human operator, to a peripheral device that produces "hard-copy," such as a line-printer, to a

peripheral storage device, such as a floppy disk unit, or the output may constitute process control signals that direct the operations of another system, such as an automated assembly line. Like input ports, output ports are addressable. The input and output ports together permit the processor to communicate with the outside world.

The CPU unifies the system. It controls the functions performed by the other components. The CPU must be able to fetch instructions from memory, decode their binary contents and execute them. It must also be able to reference memory and I/O ports as necessary in the execution of instructions. In addition, the CPU should be able to recognize and respond to certain external control signals, such as INTERRUPT and WAIT requests. The functional units within a CPU that enable it to perform these functions are described below.

THE ARCHITECTURE OF A CPU

A typical central processor unit (CPU) consists of the following interconnected functional units:

- Registers
- Arithmetic/Logic Unit (ALU)
- Control Circuitry

Registers are temporary storage units within the CPU. Some registers, such as the program counter and instruction register, have dedicated uses. Other registers, such as the accumulator, are for more general purpose use.

Accumulator:

The accumulator usually stores one of the operands to be manipulated by the ALU. A typical instruction might direct the ALU to add the contents of some other register to the contents of the accumulator and store the result in the accumulator itself. In general, the accumulator is both a source (operand) and a destination (result) register.

Often a CPU will include a number of additional general purpose registers that can be used to store operands or intermediate data. The availability of general purpose

registers eliminates the need to "store" intermediate results back and forth between memory and the accumulator, thus improving processing speed and efficiency.

Program Counter (Jumps, Subroutines and the Stack):

The instructions that make up a program are stored in the system's memory. The central processor references the contents of memory, in order to determine what action is appropriate. This means that the processor must know which location contains the next instruction.

Each of the locations in memory is numbered, to distinguish it from all other locations in memory. The number which identifies a memory location is called its Address.

The processor maintains a counter which contains the address of the next program instruction. This register is called the Program Counter. The processor updates the program counter by adding "1" to the counter each time it fetches an instruction, so that the program counter is always current (pointing to the next instruction).

The programmer therefore stores his instructions in numerically adjacent addresses, so that the lower addresses contain the first instructions to be executed and the higher addresses contain later instructions. The only time the programmer may violate this sequential rule is when an instruction in one section of memory is a jump instruction to another section of memory.

A jump instruction contains the address of the instruction which is to follow it. The next instruction may be stored in any memory location, as long as the programmed jump specifies the correct address. During the execution of a jump instruction, the processor replaces the contents of its program counter with the address provided in the jump. Thus, the logical continuity of the program is maintained.

A special kind of program jump occurs when the stored program "Calls" a subroutine. In this kind of jump, the processor is required to "remember" the contents of the program counter at the time that the jump occurs. This enables the processor to resume execution of the main program when it is finished with the last instruction of the subroutine.

A Subroutine is a program within a program. Usually it is a general-purpose set of instructions that must be executed repeatedly in the course of a main program. Routines which calculate the square, the sine, or the logarithm of a program variable are good examples of functions often written as subroutines. Other examples might be programs designed for inputting or outputting data to a particular peripheral device.

The processor has a special way of handling subroutines, in order to insure an orderly return to the main program. When the processor receives a Call instruction, it increments the Program Counter and stores the counter's contents in a reserved memory area known as the Stack. The Stack thus saves the address of the instruction to be executed after the subroutine is completed. Then the pro-

cessor loads the address specified in the Call into its Program Counter. The next instruction fetched will therefore be the first step of the subroutine.

The last instruction in any subroutine is a Return. Such an instruction need specify no address. When the processor fetches a Return instruction, it simply replaces the current contents of the Program Counter with the address on the top of the stack. This causes the processor to resume execution of the calling program at the point immediately following the original Call instruction.

Subroutines are often Nested; that is, one subroutine will sometimes call a second subroutine. The second may call a third, and so on. This is perfectly acceptable, as long as the processor has enough capacity to store the necessary return addresses, and the logical provision for doing so. In other words, the maximum depth of nesting is determined by the depth of the stack itself. If the stack has space for storing three return addresses, then three levels of subroutines may be accommodated.

Processors have different ways of maintaining stacks. Some have facilities for the storage of return addresses built into the processor itself. Other processors use a reserved area of external memory as the stack and simply maintain a Pointer register which contains the address of the most recent stack entry. The external stack allows virtually unlimited subroutine nesting. In addition, if the processor provides instructions that cause the contents of the accumulator and other general purpose registers to be "pushed" onto the stack or "popped" off the stack via the address stored in the stack pointer, multi-level interrupt processing (described later in this chapter) is possible. The status of the processor (i.e., the contents of all the registers) can be saved in the stack when an interrupt is accepted and then restored after the interrupt has been serviced. This ability to save the processor's status at any given time is possible even if an interrupt service routine, itself, is interrupted.

Instruction Register and Decoder:

Every computer has a Word Length that is characteristic of that machine. A computer's word length is usually determined by the size of its internal storage elements and interconnecting paths (referred to as Buses); for example, a computer whose registers and buses can store and transfer 8 bits of information has a characteristic word length of 8 bits and is referred to as an 8-bit parallel processor. An eight-bit parallel processor generally finds it most efficient to deal with eight-bit binary fields, and the memory associated with such a processor is therefore organized to store eight bits in each addressable memory location. Data and instructions are stored in memory as eight-bit binary numbers, or as numbers that are integral multiples of eight bits: 16 bits, 24 bits, and so on. This characteristic eight-bit field is often referred to as a Byte.

Each operation that the processor can perform is identified by a unique byte of data known as an Instruction

Code or Operation Code An eight-bit word used as an instruction code can distinguish between 256 alternative actions, more than adequate for most processors.

The processor fetches an instruction in two distinct operations. First, the processor transmits the address in its Program Counter to the memory. Then the memory returns the addressed byte to the processor. The CPU stores this instruction byte in a register known as the **Instruction Register**, and uses it to direct activities during the remainder of the instruction execution.

The mechanism by which the processor translates an instruction code into specific processing actions requires more elaboration than we can here afford. The concept, however, should be intuitively clear to any logic designer. The eight bits stored in the instruction register can be decoded and used to selectively activate one of a number of output lines, in this case up to 256 lines. Each line represents a set of activities associated with execution of a particular instruction code. The enabled line can be combined with selected timing pulses, to develop electrical signals that can then be used to initiate specific actions. This translation of code into action is performed by the **Instruction Decoder** and by the associated control circuitry.

An eight-bit instruction code is often sufficient to specify a particular processing action. There are times, however, when execution of the instruction requires more information than eight bits can convey.

One example of this is when the instruction references a memory location. The basic instruction code identifies the operation to be performed, but cannot specify the object address as well. In a case like this, a two- or three-byte instruction must be used. Successive instruction bytes are stored in sequentially adjacent memory locations, and the processor performs two or three fetches in succession to obtain the full instruction. The first byte retrieved from memory is placed in the processor's instruction register, and subsequent bytes are placed in temporary storage; the processor then proceeds with the execution phase. Such an instruction is referred to as **Variable Length**.

Address Register(s):

A CPU may use a register or register-pair to hold the address of a memory location that is to be accessed for data. If the address register is **Programmable**, (i.e., if there are instructions that allow the programmer to alter the contents of the register) the program can "build" an address in the address register prior to executing a **Memory Reference** instruction (i.e., an instruction that reads data from memory, writes data to memory or operates on data stored in memory).

Arithmetic/Logic Unit (ALU):

All processors contain an arithmetic/logic unit, which is often referred to simply as the **ALU**. The ALU, as its name implies, is that portion of the CPU hardware which

performs the arithmetic and logical operations on the binary data.

The ALU must contain an **Adder** which is capable of combining the contents of two registers in accordance with the logic of binary arithmetic. This provision permits the processor to perform arithmetic manipulations on the data it obtains from memory and from its other inputs.

Using only the basic adder a capable programmer can write routines which will subtract, multiply and divide, giving the machine complete arithmetic capabilities. In practice, however, most ALUs provide other built-in functions, including hardware subtraction, Boolean logic operations, and shift capabilities.

The ALU contains **Flag Bits** which specify certain conditions that arise in the course of arithmetic and logical manipulations. Flags typically include **Carry**, **Zero**, **Sign**, and **Parity**. It is possible to program jumps which are conditionally dependent on the status of one or more flags. Thus, for example, the program may be designed to jump to a special routine if the carry bit is set following an addition instruction.

Control Circuitry:

The control circuitry is the primary functional unit within a CPU. Using clock inputs, the control circuitry maintains the proper sequence of events required for any processing task. After an instruction is fetched and decoded, the control circuitry issues the appropriate signals (to units both internal and external to the CPU) for initiating the proper processing action. Often, the control circuitry will be capable of responding to external signals, such as an interrupt or wait request. An **Interrupt** request will cause the control circuitry to temporarily interrupt main program execution, jump to a special routine to service the interrupting device, then automatically return to the main program. A **Wait** request is often issued by a memory or I/O element that operates slower than the CPU. The control circuitry will idle the CPU until the memory or I/O port is ready with the data.

COMPUTER OPERATIONS

There are certain operations that are basic to almost any computer. A sound understanding of these basic operations is a necessary prerequisite to examining the specific operations of a particular computer.

Timing:

The activities of the central processor are cyclical. The processor fetches an instruction, performs the operations required, fetches the next instruction, and so on. This orderly sequence of events requires precise timing, and the CPU therefore requires a free running oscillator clock which furnishes the reference for all processor actions. The combined fetch and execution of a single instruction is referred to as an **Instruction Cycle**. The portion of a cycle identified

with a clearly defined activity is called a State. And the interval between pulses of the timing oscillator is referred to as a Clock Period. As a general rule, one or more clock periods are necessary for the completion of a state, and there are several states in a cycle.

Instruction Fetch:

The first state(s) of any instruction cycle will be dedicated to fetching the next instruction. The CPU issues a read signal and the contents of the program counter are sent to memory, which responds by returning the next instruction word. The first byte of the instruction is placed in the instruction register. If the instruction consists of more than one byte, additional states are required to fetch each byte of the instruction. When the entire instruction is present in the CPU, the program counter is incremented (in preparation for the next instruction fetch) and the instruction is decoded. The operation specified in the instruction will be executed in the remaining states of the instruction cycle. The instruction may call for a memory read or write, an input or output and/or an internal CPU operation, such as a register-to-register transfer or an add registers operation.

Memory Read:

An instruction fetch is merely a special memory read operation that brings the instruction to the CPU's instruction register. The instruction fetched may then call for data to be read from memory into the CPU. The CPU again issues a read signal and sends the proper memory address; memory responds by returning the requested word. The data received is placed in the accumulator or one of the other general purpose registers (not the instruction register).

Memory Write:

A memory write operation is similar to a read except for the direction of data flow. The CPU issues a write signal, sends the proper memory address, then sends the data word to be written into the addressed memory location.

Wait (memory synchronization):

As previously stated, the activities of the processor are timed by a master clock oscillator. The clock period determines the timing of all processing activity.

The speed of the processing cycle, however, is limited by the memory's Access Time. Once the processor has sent a read address to memory, it cannot proceed until the memory has had time to respond. Most memories are capable of responding much faster than the processing cycle requires. A few, however, cannot supply the addressed byte within the minimum time established by the processor's clock.

Therefore a processor should contain a synchronization provision, which permits the memory to request a Wait state. When the memory receives a read or write enable signal, it places a request signal on the processor's READY line, causing the CPU to idle temporarily. After the memory has

had time to respond, it frees the processor's READY line, and the instruction cycle proceeds.

Input/Output:

Input and Output operations are similar to memory read and write operations with the exception that a peripheral I/O device is addressed instead of a memory location. The CPU issues the appropriate input or output control signal, sends the proper device address and either receives the data being input or sends the data to be output.

Data can be input/output in either parallel or serial form. All data within a digital computer is represented in binary coded form. A binary data word consists of a group of bits, each bit is either a one or a zero. Parallel I/O consists of transferring all bits in the word at the same time, one bit per line. Serial I/O consists of transferring one bit at a time on a single line. Naturally serial I/O is much slower, but it requires considerably less hardware than does parallel I/O.

Interrupts:

Interrupt provisions are included on many central processors, as a means of improving the processor's efficiency. Consider the case of a computer that is processing a large volume of data, portions of which are to be output to a printer. The CPU can output a byte of data within a single machine cycle but it may take the printer the equivalent of many machine cycles to actually print the character specified by the data byte. The CPU could then remain idle waiting until the printer can accept the next data byte. If an interrupt capability is implemented on the computer, the CPU can output a data byte then return to data processing. When the printer is ready to accept the next data byte, it can request an interrupt. When the CPU acknowledges the interrupt, it suspends main program execution and automatically branches to a routine that will output the next data byte. After the byte is output, the CPU continues with main program execution. Note that this is, in principle, quite similar to a subroutine call, except that the jump is initiated externally rather than by the program.

More complex interrupt structures are possible, in which several interrupting devices share the same processor but have different priority levels. Interruptive processing is an important feature that enables maximum utilization of a processor's capacity for high system throughput.

Hold:

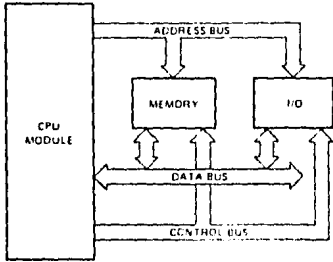
Another important feature that improves the throughput of a processor is the Hold. The hold provision enables Direct Memory Access (DMA) operations.

In ordinary input and output operations, the processor itself supervises the entire data transfer. Information to be placed in memory is transferred from the input device to the processor, and then from the processor to the designated memory location. In similar fashion, information that goes

from memory to output devices goes by way of the processor.

Some peripheral devices, however, are capable of transferring information to and from memory much faster than the processor itself can accomplish the transfer. If any appreciable quantity of data must be transferred to or from such a device, then system throughput will be increased by

having the device accomplish the transfer directly. The processor must temporarily suspend its operation during such a transfer, to prevent conflicts that would arise if processor and peripheral device attempted to access memory simultaneously. It is for this reason that a hold provision is included on some processors.



BIBLIOGRAFIA

- 1- Cabrera E., Espejel R., Toca R. "Sistema Controlador de Temperatura" Revista Mexicana de Física 86, No. 3. 1980 , pp. 413-420.
- 2- Cannon, Luecke. "Understanding Microprocessors". Texas Instruments. 1979.
- 3- Carr, J. "Digital Interfacing with an Analog World". Tab Books, 1978.
- 4- CCR Press, "Handbook of Chemistry and Physics" 61th edition, 1980-1981.
- 5- Eskin S. G., Fritze J.R., "Thermostatic Bimetals". ASME Vol. 62, Julio 1940.
- 6- Garcia Narcia O., "Programación 8080-8085". Ed. Bioediciones, S. A., 2a. Edición, 1981.
- 7- Hewlett Packard "Practical Temperature Measurements". Application Note 290, Palo Alto California. 1980.
- 8- Holman, P. J., "Métodos Experimentales para Ingenieros". Mc Graw Hill. 1971.
- 9- Intel, "MCS-80/85TM Family User's Manual. 1978.
- 10- Intel, "SDK-85. System Design Kit. User's Manual. 1978.
- 11- Malvino, "Digital Principles and Applications". Mc Graw Hill. 2a. Ed., 1979.
- 12- Preobrashenski, V.F., "Mediciones Termotécnicas y Aparatos para Efectuarlas". Tomo I. Ed. MIR. 1980.
- 13- Idem 12, pp. 97.
- 14- Idem 12, pp. 134.
- 15- Idem 12, pp. 71.
- 16- Pollock, D., "The Theory and Properties of Termocouple Elements". ASTM STP 492, Omega Press, Ithaca.
- 17- Titus, Titus. " Microcomputer - Analog Converter Software and Hardware Interfacing". Howard W. Sams and Co. Inc. 1978.
- 18- Trietley, A., "All About Thermistors". Radio Electronics. Febrero 1985.