



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE CIENCIAS

**LOS MICROPROCESADORES EN LA FÍSICA:
UNA INTRODUCCION.**

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 :

BEATRIZ SANCHEZ Y SANCHEZ

México, D. F.

1985



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

Prólogo	1
Capítulo I. Instrumentos de medición: sus partes	3
1.1. Instrumentos de medición	3
1.2. Módulo de detección	7
1.2.1. Medición de temperatura	8
1.2.2. Medición de presión	13
1.2.3. Medición de desplazamiento	15
1.2.4. Consideraciones generales sobre transductores	17
1.3. Módulo de acondicionamiento	20
1.3.1. Acoplamiento de Impedancias	20
1.3.2. Amplificación	21
1.3.3. Filtraje	22
1.3.4. Linealización	25
Bibliografía	26
Capítulo II. Elementos de un sistema de adquisición de datos	28
2.1. Introducción	28
2.2. Sistema de adquisición de datos	28
2.2.1. Módulo de conversión analógica digital	29
- Muestreo de señales	30
- Cuantización de una señal	33

2.2.2. Convertidores analógicos digitales y	
convertidores digitales analógicos	34
- Convertidores digitales analógicos (CDA)	35
- Convertidores analógicos digitales (CAD)	37
- Criterios de selección de convertidores	42
2.2.3. Módulo de proceso	45
- Unidad central de proceso	46
- Memorias	53
- Interfaces	55
- Periféricos	56
2.3. Sistemas microcomputadores	56
2.3.1. Clasificación de los sistemas	
microcomputadores	57
- Sistemas dedicados	58
- Sistemas de uso general	59
- Sistemas de desarrollo	60
2.3.2. Opciones de instrumentación de un sistema	
dedicado	61
Bibliografía	63

Capítulo III. Aplicaciones de un sistema de adquisición	
de datos	67
3.1. Introducción	67
3.2. Ejemplos a desarrollar con el SAD	68
3.3. Funciones y características que debe	
satisfacer el SAD	73

3.4.	Elementos que van a constituir el SAD	74
3.4.1.	Módulos de conversión analógica digital	75
3.4.2.	Módulo de proceso	80
3.5.	Desarrollo de ejemplos en que se utiliza el SAD	82
3.5.1.	Observación de carga y descarga de un capacitor	83
3.5.2.	Detección de un evento relevante	92
3.5.3	Proceso de señales	98
3.5.4.	Determinación de la posición de de un objeto	103
	Bibliografía	125
Apéndice A.	Definiciones de algunas características que dan los fabricantes de CDA y CAD.	126
Apéndice B.	Microprocesador MC6800	136
Apéndice C.	Peripheral Interface Adapter PIA MC6820	144
Apéndice D.	Equivalencia de voltajes entre señales de entrada a nuestro CAD y de salida de nuestro CDA	154

PROLOGO

El auge que han tenido los microprocesadores en fechas relativamente recientes y la presencia de éstos como parte esencial de muy diversos aparatos y sistemas, principalmente en sistemas de medición y cómputo, ha creado un enorme interés en la introducción de los microprocesadores como parte del equipo o instrumentos utilizados en los laboratorios de investigación o enseñanza de la física.

Es por ello que la intención de esta tesis es presentar la forma en que es posible diseñar y construir un instrumento de medición que esté constituido en una de sus partes primordiales por un microprocesador, así como presentar cómo ayudan estos nuevos sistemas a efectuar el análisis, proceso, control, etc., de un experimento en los laboratorios de enseñanza e investigación en física.

Dado que para nuestros propósitos es necesario conocer cómo está constituido un instrumento de medición, cuáles son las funciones que debe desempeñar y la manera en que pueden efectuarse, el primer capítulo de esta tesis se dedica a describir estos puntos. En particular se determina la arquitectura general de los instrumentos de medición y qué parte de éstos puede estar formado por un sistema de adquisición de datos. Se busca también dar una descripción detallada de cada una de sus partes y de la forma en que puede realizarse la medición de algunas señales físicas.

En el capítulo II se presenta la manera en que pue de constituirse un sistema de adquisición de datos; se dan también las características de cada una de sus partes y se indica la forma en que el sistema puede realizar sus funcio nes. Buscando que la descripción sea fluida, algunos de los detalles de este capítulo se desarrollan en apéndices.

El capítulo III es la parte medular de la tesis en cuanto a que en él se dan detalles sobre el diseño y construcción de un sistema de adquisición de datos con que es posible responder a diversas necesidades planteadas por pro blemas que se presentan en los laboratorios de física. Como ilustración se desarrollan cuatro ejemplos que permiten observar de qué forma puede obtenerse un mayor provecho de los sistemas de adquisición de datos para la solución de problemas concretos.

CAPITULO I

INSTRUMENTOS DE MEDICION: SUS PARTES

1.1 INSTRUMENTOS DE MEDICION

El desarrollo de la ciencia y la tecnología depende en buena medida de la capacidad para medir la enorme cantidad de variables que intervienen en el estudio de los fenómenos, muchas de las cuales el hombre no puede determinar por si solo con precisión y que, con frecuencia, ni siquiera puede percibir. Los instrumentos de medición son los elementos que permiten al ser humano realizar la observación, análisis y proceso de la información proveniente de los fenómenos.

Como se sabe, un instrumento de medición siempre altera al medio que mide en busca de la información y es por eso que constantemente se ha tratado de mejorarlos en sensibilidad, exactitud, precisión, etc., para que las perturbaciones que el medio recibe disminuyan lo más posible. Esta continua preocupación por mejorarlos ha impulsado a que los instrumentos de medición sufran grandes cambios, no tan sólo en la forma de detección de la señal, sino también en la capacidad del manejo de la información y del control del proceso. Puede decirse además que la gran evolución de los instrumentos de medición está íntimamente relacionada con los

avances que ha tenido la electrónica y la computación en las últimas décadas

Es entonces de suma importancia realizar un estudio detallado de los instrumentos de medición y así determinar cómo están constituidos y cuáles son las funciones que pueden efectuar.¹⁻⁶

Un instrumento de medición está compuesto en su forma más general por los siguientes módulos (ver figura 1.1).

- Detección
- Acondicionamiento de la señal
- Conversión analógica digital
- Procesamiento de la información
- Presentación de la información

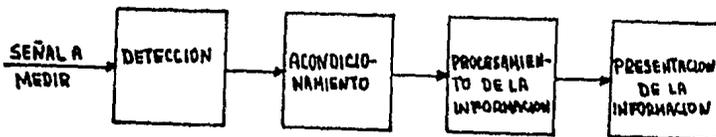


Figura 1.1. Módulos que constituyen un instrumento de medición.

El módulo de detección, que está constituido por los transductores (dispositivos descritos en la sección 1.3), es el que inicialmente recibe la señal del medio y produce una

salida que de algún modo conserva la información de la cantidad medida.

La salida del primer módulo es alguna variable física y para que el instrumento ejecute la función deseada puede ser necesario modificar ciertas características de la variable de manera que pueda ser manejable. De ahí que el elemento de acondicionamiento tenga la función de adecuar la señal a las necesidades del sistema. Ejemplos típicos de elementos que ejecuten las tareas de este módulo son: los amplificadores, los filtros, etc.

El módulo de proceso es necesario para efectuar el análisis, manipulación, cálculo, etc., de la información obtenida del medio.

Una vez que la información ha sido obtenida, acondicionada y procesada, se requiere tenerla en una forma reconocible para que sea posible aprovecharla; para ello es necesario un dispositivo que se encargue de esta tarea. Precisamente es el módulo de presentación o despliegue de la información el encargado de ello. Como ejemplo de éstos tenemos a: osciloscopios, graficadoras teletipos, galvanómetros, etc.

Si el módulo de proceso o de despliegue está formado por dispositivos digitales, es necesario disponer de otro u otros elementos que nos permitan realizar el cambio de la representación de la señal que se maneja. Los elementos que realizan esta tarea son los convertidores analógi-

cos digitales y digitales analógicos y de ellos está constituido el módulo de conversión analógica digital.

Cuando se desea realizar la medición de una variable física específica, el módulo de detección y el de acondicionamiento que se utilizan para efectuar dicha medición sólo sirven, por lo regular, para un número reducido de experimentos que requieran de las características que estos módulos pueden cubrir; es decir que para cada tipo de variable o cambio en los intervalos de medición, resolución, etc., estos módulos tendrán que cambiarse. Por otro lado es perfectamente posible formar un sistema con los módulos de conversión analógica digital, proceso y despliegue, que tengan la versatilidad necesaria para manipular la información proveniente de los módulos de detección y acondicionamiento sin alterarse, sea cual sea la naturaleza de la variable a medir. El sistema formado por estos tres módulos es lo que se llamará un sistema de adquisición de datos (SAD).

Entonces de aquí en adelante se va a tratar a un instrumento de medición como el que está formado por

- Módulo de detección
- Módulo de acondicionamiento
- Sistema de adquisición de datos

Donde el sistema de adquisición de datos está constituido por los módulos siguientes

- Conversión analógica digital
- Proceso de la información

- Despliegue

Cabe aclarar que en un instrumento de medición el módulo de proceso de la información puede ser un elemento que procese la información analógica o digitalmente. En nuestro caso sólo se tratarán los que lo realicen digitalmente y, aún más específicamente, aquellos cuyo módulo de proceso tenga como parte esencial un microprocesador. Será el propósito del capítulo II hablar detalladamente de la manera en que se conforma un sistema de adquisición de datos. Por el momento sólo trataremos la forma en que puede efectuarse la detección de algunas variables físicas y de cómo se pueden tener de una manera manejable, que es en sí ocuparse de cómo se constituyen los módulos de detección y el de acondicionamiento.

1.2. MODULO DE DETECCION

Cuando se detecta una señal de cualquier fenómeno, no siempre se presenta en la forma más adecuada para su utilización, surge entonces la necesidad de convertirla en otra, sin modificar su información, con características análogas pero de una naturaleza más manejable. Al dispositivo encargado de efectuar tal labor se le conoce con el nombre de transductor

Los transductores que trataremos aquí son aquellos que convierten señales físicas de cualquier tipo en señales

eléctricas.

Los transductores pueden clasificarse en^{2, 6}

- Activos o moduladores.
- Pasivos o generadores.

Los transductores activos necesitan una fuente de alimentación que suministra la mayor parte de la potencia de salida, y usan la energía del medio sólo para modular la energía de alimentación.

Los transductores pasivos no necesitan fuente de alimentación; proporcionan la señal de salida tomando energía de la variable o medio a medir.

A continuación se mencionan varias formas en que es posible realizar la transducción de algunas señales físicas y los transductores usados.

1.2.1. MEDICION DE TEMPERATURA²

- Sensores termoeléctricos o termopares

Cuando se unen dos metales diferentes A y B, como se muestra esquemáticamente en la figura 1.2, se produce una fuerza electromotriz entre los puntos extremos, la cual es función del material y de las temperaturas a las que se encuentran los materiales. Desafortunadamente no existe una relación exacta para calcular la fuerza electromotriz producida, sólo aproximaciones. En la práctica lo que se hace es

calibrar los pares termoeléctricos dentro del intervalo completo de temperatura en el que se vaya a trabajar. Por tanto, la medida de la temperatura por medios termoeléctricos se basa en calibraciones empíricas y en la aplicación de las llamadas leyes termoeléctricas, cuya validez ha demostrado la experiencia.

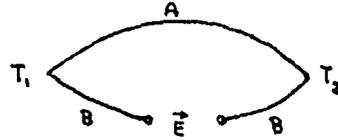


Figura 1.2 Par termoeléctrico

A continuación se describen algunos de los termopares más usados y sus intervalos de medición.

Los pares termoeléctricos de platino y platino con rodio se usan principalmente en el intervalo de 0 a 1500°C. Las características principales de esta combinación son su inactividad química y su estabilidad a altas temperaturas en atmósferas oxidantes. Las atmósferas reductoras, sin embargo, producen su rápido deterioro a elevadas temperaturas, debido a que los materiales del par termoeléctrico se contaminan absorbiendo pequeñas cantidades de otros materiales de los objetos cercanos. Esto provoca una descalibración que comúnmente ocurre arriba de los 1000°C para la mayoría de los materiales usados para estos pares termoeléctricos.

Los pares de cromel y alumel son útiles en el intervalo de -200 a 1300°C; sin embargo, su principal aplicación es de aproximadamente 700 a 1200°C en atmósferas no reductoras. La característica principal de la relación de la tempe-

ratura al voltaje para esta combinación es que es prácticamente lineal.

El par de cobre y constantán se usa a temperaturas tan bajas como -200°C ; su límite superior es aproximadamente de -150 a 1000°C ; puede usarse en atmósferas oxidantes hasta aproximadamente 760°C y en atmósferas reductoras hasta 1000°C .

El creciente interés en los procesos a altas temperaturas en los motores de reacción de los cohetes y los reactores nucleares ha creado la necesidad de producir sensores de temperatura seguros en el intervalo de 1000 a 25000°C . Entre los nuevos pares termoeléctricos elaborados para estas aplicaciones se encuentran los de radio iridiado y rodio, los de tungsteno y renio y los de boro y grafito.

- Sensores de resistencia eléctrica²

La resistencia eléctrica cambia en forma reproducible con la temperatura permitiendo así un método para medirla. Los materiales que se usan en la actualidad están incluidos en dos clases principales: conductores (metales) y semiconductores. Los que usan materiales conductores históricamente se usaron primero y se han llamado tradicionalmente termómetros de resistencia. Los de semiconductores aparecieron más recientemente y se les han llamado termistores.

El termómetro de resistencia eléctrica es un dispo-

sitivo muy preciso para la medición de temperaturas, donde el cambio en la resistencia eléctrica del material constituirá una indicación de la temperatura. Existen varios tipos de materiales que pueden utilizarse como elementos resistivos tales como: níquel, hierro, cobre, plomo, plata, platino, etc.

El coeficiente de resistencia α se define por

$$\alpha = \frac{1}{R_1} \frac{R_2 - R_1}{T_2 - T_1},$$

donde R_1 y R_2 son las resistencias del material a las temperaturas T_1 y T_2 , respectivamente.

La relación anterior se aplica generalmente en un intervalo limitado de temperaturas, en el que la variación de la resistencia con la temperatura es aproximadamente lineal. Cuando se desea abarcar intervalos mayores, la resistencia del material se expresa generalmente por la relación

$$R = R_0(1 + a_1T + A_2T^2 + \dots + A_nT^n),$$

donde R es la resistencia a la temperatura T , R_0 es la resistencia a 0°F , y a_1 son constantes determinadas experimentalmente.

La mayoría de estos termómetros pueden usarse para medir en intervalos de 0 a 800°C y algunos pueden ser bastante lineales en este intervalo. Dependiendo de la aplicación,

existen varios métodos para fabricar termómetros de resistencia. En todos los casos se debe estar seguro de que la resistencia esté libre de esfuerzos mecánicos y que esté colocada de tal manera que no haya contacto con la humedad, ya que ésta perturba la medición.

El termistor es un elemento semiconductor que tiene un coeficiente negativo de resistencia, en contraste con el coeficiente positivo que muestran la mayoría de los conductores. Además, la variación de su resistencia con la temperatura sigue un comportamiento exponencial, en vez de una relación potencial como en el caso del termómetro de resistencia.

La relación para un termistor es generalmente de la forma

$$R = R_0 \exp \left\{ \beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right\} ,$$

donde R_0 es la resistencia a la temperatura absoluta T_0 y β es una constante determinada experimentalmente. El valor numérico de β está comprendido, generalmente, entre 3500 y 4600°K dependiendo del material del termistor y la temperatura.

El termistor es un dispositivo extremadamente sensible que por medio de una calibración adecuada puede alcanzar precisiones del orden de 0.01 °C. Otra característica interesante del termistor es que se puede utilizar para compensar incrementos de resistencia por temperatura en circuitos eléct

tricos, lo cual se debe a su coeficiente negativo de temperatura.

El intervalo de temperaturas en que los termistores son utilizados es aproximadamente de -250 a 700 °C; sin embargo por lo común no se utiliza un solo termistor en un intervalo tan grande (una de las causas es su alinealidad).

El germanio contaminado con arsénico, galio o antimonio, se utiliza para temperaturas criogénicas, donde presenta una gran disminución de resistencia al aumentar la temperatura. La relación es bastante alineal, pero muy reproducible, dando medidas precisas dentro de 0.001 a 0.0001 °K cerca de 4 °K cuando se tienen los cuidados adecuados.

1.2.2. MEDICION DE PRESION²

- Sensor Bridgman

Es conocido el hecho de que la resistencia de un alambre delgado varía linealmente con la presión de acuerdo a la siguiente relación

$$R = R_1(1 + b\Delta P),$$

donde R_1 es la resistencia a una atmósfera, b es el coeficiente de resistencia por presión y ΔP es la presión manométrica.

Este efecto se puede utilizar para la medición de

presiones tan altas como 100,000 atm. El medidor bridgman es un transductor de presión basado en ese principio. Este tipo de medidores está sujeto a problemas de envejecimiento por lo que es necesario calibrarlos frecuentemente; sin embargo, cuando se calibran adecuadamente puede servir para efectuar mediciones de presiones altas con precisiones del orden de 0.1%. La respuesta transitoria del medidor es excelente.

- Sensor Pirani

A presiones bajas la conductividad térmica efectiva de los gases decrece con la presión. El medidor Pirani es un dispositivo que mide presión a través del cambio en la conductividad térmica del gas. Un esquema de este medidor se muestra en la figura 1.3.

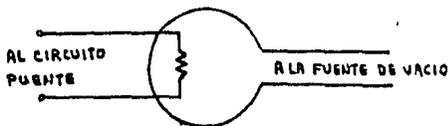


Figura 1.3. Medidor Pirani.

Como se puede observar, un filamento que está localizado dentro de un espacio vacío se calienta eléctricamente. Las pérdidas de calor que sufre el filamento dependen de la

conductividad térmica del gas y de la temperatura a la que se encuentra el filamento. De esta manera, cuanto más baja sea la presión menor será la conductividad térmica y, consecuentemente, la temperatura del filamento será mayor para una entrada de energía eléctrica dada. Aunque la temperatura del filamento se podría medir con un termopar, en el caso del sensor Pirani la medición se realiza mediante la observación de la variación de la resistencia del filamento (que puede ser de tungsteno, platino, etc.).

El sensor Pirani requiere de una calibración empírica y generalmente no es adecuado para usarse a presiones muy por debajo de 1 μ . El límite superior es aproximadamente de un torr. Para presiones mayores la conductividad térmica varía muy poco con la presión.

También se pueden realizar mediciones de la presión por medio de la ionización de un gas. Experimentalmente se encuentra que la presión del gas es proporcional a la cantidad de iones producidos en el gas (el número de iones se mide indirectamente por la corriente que producen éstos en placas destinadas a recibirlos).

1.2.3. MEDICION DE DESPLAZAMIENTO²

- Transductor de resistencia variable

El transductor de resistencia variable es un dispositivo muy común que puede construirse en forma de un contacto

que se mueve sobre un alambre, una película de carbón, o algún elemento conductor. El movimiento del contacto puede ser de translación, rotación o una combinación de ambos. A este dispositivo también se le denomina potenciómetro o reóstato y se puede conseguir comercialmente en diferentes dimensiones, diseños e intervalos.

Esencialmente, el potenciómetro es un dispositivo que convierte un desplazamiento lineal o angular en cambio de resistencia.

- Transformador diferencial

En la figura 1.4 se presenta un diagrama esquemático de un transformador diferencial. Se colocan tres bobinas en una disposición lineal con un núcleo magnético que se puede mover libremente entre ellas. A las bobinas del primario se les aplica un voltaje alterno, de manera que el voltaje de salida de las dos bobinas secundarias depende del acoplamiento magnético entre el núcleo y las bobinas. Este acoplamiento, a su vez, depende de la posición del núcleo. Por lo tanto el voltaje de salida del dispositivo es una indicación del desplazamiento del núcleo. Siempre que el núcleo permanezca cerca del centro de las tres bobinas, la salida será aproximadamente lineal. El intervalo lineal de los transformadores diferenciales se especifica claramente y raras veces se hacen operar los dispositivos fuera de este intervalo. Cuando opera en el intervalo lineal, el dispositivo se denomina transformador diferencial lineal variable.

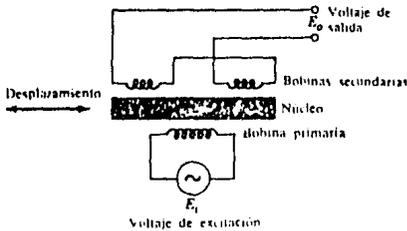


Figura 1.4. Transformador diferencial

1.2.4. CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE TRANSDUCTORES

Además de las varias formas de transducción posibles, existen otras consideraciones que es importante hacer sobre transductores. De ellas nos ocuparemos ahora.

Cuando se va a realizar la medición de una señal física es importante la selección adecuada del transductor. Para ello es conveniente tener respuestas claras a las siguientes cuestiones:⁷

- ¿Cuáles es el propósito real de la medida?
- ¿Cuál es el intervalo de despliegue que se desea de la medición?
- ¿Cuál es la precisión que debe tener la medición en la presentación final?

- ¿Qué procesamiento va a tener la información obtenida de la señal?
- ¿Cumple la salida del transductor con las condiciones mínimas para la transmisión o proceso de la información?
- ¿Cuál es el máximo error que puede ser tolerado durante las condiciones estáticas y después cuando es expuesto a las condiciones dinámicas?
- ¿Cuáles son las limitaciones de la excitación y la salida?
- ¿Cuál es la tolerancia en el manejo de la potencia?
- ¿Qué manufactura ha demostrado suficiente confiabilidad para producir transductores similares a los requeridos?
- ¿Qué intervalos de trabajo necesita cumplir el transductor?

Una vez elegido el transductor adecuado a la aplicación, es necesario conocer su conjunto de funciones de transferencia, que es una relación característica que da las especificaciones del comportamiento y que usualmente se da en términos de una ecuación, una tabla de valores o una gráfica.

La función de transferencia da, de hecho, toda la información acerca del comportamiento del transductor.

Dos de las características más importantes de un transductor son su sensibilidad y su linealidad.

La sensibilidad es la relación que nos indica el cam

bio que se presenta en la señal de salida dado un cambio en la señal de entrada.

La linealidad de la señal nos dice qué tanto se acerca la función de transferencia a una línea recta.

Todo transductor tiene también un tiempo de respuesta característico, esto es: cuando se presenta un cambio en la señal a detectar, el transductor no reacciona ni se estabiliza inmediatamente. El tiempo que tarda en responder el transductor puede ser medido de tres formas diferentes que son

- Constante de tiempo del transductor.
- Tiempo de respuesta del transductor.
- Tiempo de levantamiento.

La constante de tiempo del transductor es el tiempo que requiere para que la salida alcance un 63% de su estado final.

El tiempo de respuesta del transductor es el tiempo que requiere para alcanzar un porcentaje previamente establecido del estado final de la señal, por ejemplo el tiempo que tarda en alcanzar el 95% del estado final.

El tiempo de levantamiento es el tiempo en el cual el cambio de la señal de salida va del 10% al 90% del estado final.

Las definiciones anteriores son ciertas sólo si la excitación es un impulso escalón.

Por lo general cuando se usa un transductor comercial el fabricante da todas las características, o las más importantes.

tes, del transductor, por lo que sólo es necesario realizar pequeños ajustes para manejarlos.

1.3. MODULO DE ACONDICIONAMIENTO

Como las señales de salida de un transductor son por lo general de muy bajo voltaje y corriente, es necesario adecuar la señal para que pueda ser manejada por los dispositivos de proceso o despliegue, o para que sea transmitida de un dispositivo a otro.

Las formas de acondicionamiento más utilizadas son:

- Acomplamiento de impedancias.
- Amplificación.
- Filtraje.
- Linealización.

1.3.1. ACOMPLAMIENTO DE IMPEDANCIAS

En una gran mayoría de experimentos es necesario interconectar varios dispositivos para poder llevar a buen fin el objetivo de la medición. Cuando se efectúan conexiones entre estos dispositivos debe procederse con cuidado para evitar un desbalance inconveniente entre sus impedancias, porque de otra forma se puede perder la información deseada.

Primero se debe saber cuál es la señal característica y qué se desea transmitir o conservar de ella. Sea $E(s)$ la señal de salida del dispositivo de transmisión, el cual tiene

una impedancia de salida Z_{01} , y la sea Z_{i2} impedancia de entrada de la siguiente etapa (ver figura 1.5).

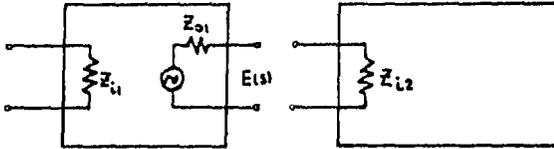


Figura 1.5. Acoplamiento de impedancias.

Si se desea tener la mayor transferencia de la información en voltaje, la impedancia de salida del primer dispositivo Z_{01} debe ser mucho menor que la impedancia de entrada del dispositivo siguiente Z_{i2} ($Z_{01} \ll Z_{i2}$).

Si se desea tener la mayor transferencia de la información en corriente, se debe satisfacer que $Z_{01} \gg Z_{i2}$.

Para el caso de máxima transferencia de potencia se debe cumplir que $Z_{01} = Z_{i2}$.

Aunque no las discutiremos, podemos mencionar las siguientes formas de realizar acoplamientos conservando la información de interés: directo, capacitivo, inductivo, resonante y electrónico.

1.3.2. AMPLIFICACION

Las señales de las mediciones se presentan en una

gran variedad de formas. En muchos casos estas señales son bastante débiles y deben amplificarse antes de que puedan representarse adecuadamente a los módulos de proceso, despliegue, etc. Se debe tener cuidado que la respuesta dinámica de un amplificador sea igual o mayor que la del transductor que genera la señal. Ordinariamente se especifica que ésta quede dentro del intervalo plano de la respuesta en frecuencia. En algunos casos existe un serio desacoplamiento entre el transductor y la etapa siguiente, de tal forma que debe utilizarse un amplificador para proveer de una potencia adecuada (acoplamiento electrónico).

Un elemento en particular que es de suma utilidad en este módulo es el amplificador operacional, dadas sus características intrínsecas. Una descripción detallada de éste, sin embargo rebasa los objetivos de este trabajo (Una descripción más detallada de este se encuentra en las referencias 7 y 8).

1.3.3. FILTRAJE²

Frecuentemente se desea utilizar sólo un intervalo de frecuencias de la salida del transductor. Un ejemplo es cuando estas frecuencias representan la señal, mientras que otras frecuencias pueden ser armónicos indeseables o ruido resultante de algún tipo de distorsión en el circuito de entrada. Si se utiliza un intervalo de frecuencias relativamente pequeño es posible generalmente operar con circuitos electró-

nicos más simples para propósitos de amplificación, que cuando se utiliza un intervalo más amplio de frecuencias.

Aunque pueden utilizarse varias configuraciones para circuitos filtro, todas caen dentro de cuatro categorías; filtros pasa bajas, filtros pasa altas, filtros pasa banda y filtros supresores. Estos circuitos se pueden construir con elementos pasivos o activos. El filtro pasa bajas permite la transferencia de frecuencias por debajo de cierto valor de corte con un poco o nada de atenuación, mientras que el filtro pasa altas permite la transmisión de frecuencias por arriba de cierto valor de corte. El filtro pasa banda permite la transmisión de un cierto intervalo o banda de frecuencias, mientras que atenúa las que están arriba y abajo de los límites de este intervalo. Existe también el caso contrario al pasa banda que es el de supresión y que permite la transmisión de casi todas las frecuencias excepto en un pequeño intervalo en el que las atenúa. Las curvas del comportamiento aproximado para estos cuatro tipos de filtros se pueden ver en la figura 1.6.

La frecuencia de corte para los filtros pasa altas y pasa bajas se designa por f_c y los límites de transmisión de frecuencia para los filtros pasa banda y supresor se denotan por las frecuencias f_1 y f_2 .

Se debe hacer notar que los diversos circuitos filtro no proporcionan una variación abrupta en la atenuación en la frecuencia de corte; esto es, hay una transmisión de algunas fre

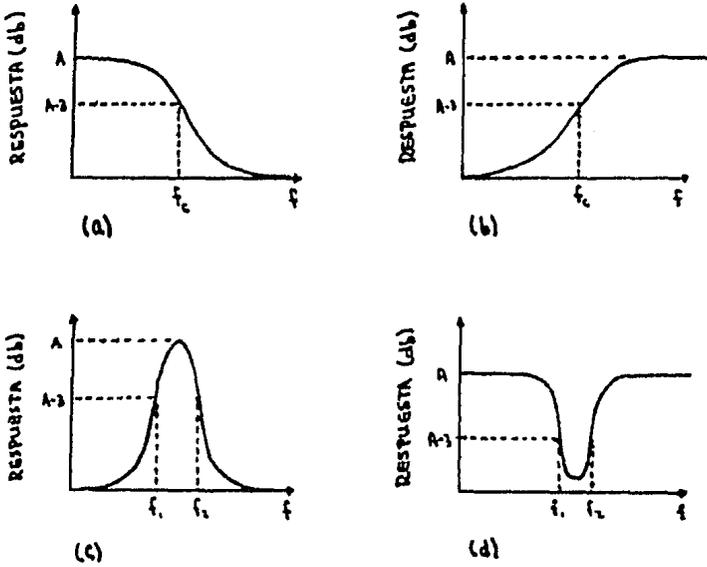


Figura 1.6. Curvas normalizadas de comportamiento aproximado para los filtros: a) pasa bajas, b) pasa altas, c) pasa banda, d) supresor.

cuencias arriba y abajo del valor de corte, aunque la atenuación de la señal se hace más pronunciada conforme la frecuencia se aleja de las condiciones de corte.

1.3.4 LINEALIZACION

Otra forma de acondicionamiento de señales es la linealización de éstas. Esta forma es usada cuando la función de transferencia del transductor no es lineal y es deseable contar con una relación lineal de su comportamiento. La linealización de una función de transferencia consiste en hacer que la función se comporte en forma lineal, es decir,

$$f\{c(a+b)\} = cf(a) + cf(b);$$

dicho de otra forma, que sus puntos describan una línea recta. Existen varias formas de linealizar una función; describiremos las más usadas.

El método de mínimos cuadrados es probablemente el más usado para ajustar una recta a una familia de puntos.

Existe otro método de linealización que puede aplicarse cuando la función que sigue la señal, o la función de transferencia del elemento, es una función analítica cuya primera derivada es diferente de cero. El método consiste en aproximar la función con los dos primeros términos de su serie de Taylor, es decir,

$$f(x) = f(x_0) + \left. \left(\frac{df}{dx} \right) \right|_{x=x_0} (x-x_0) + \dots$$

Cuando la señal tiene un comportamiento como el mostrado en la figura 1.7 no es posible realizar una linealiza-

ción para todo el dominio de la función. Lo que puede hacerse en este caso es una linealización por intervalos aproximando la función por una recta cuya pendiente es la pendiente de la curva en el punto medio o por una secante del intervalo, dependiendo de cual sea la mejor aproximación. Es claro que los métodos de mínimos cuadrados y de Taylor ya descritos son otra forma de ajustar una recta a cada intervalo.

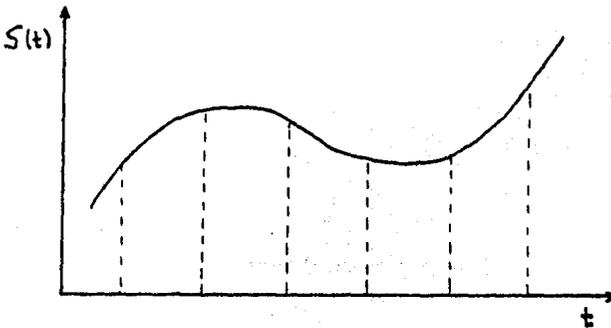


Figura 1.7. Curva sólo linealizable por intervalos.

Una vez presentados algunos datos generales sobre instrumentos de medición, en el siguiente capítulo describiremos los módulos que componen un instrumento de medición digital.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Doebelin, Ernest O.
Diseño y Aplicaciones de Sistemas de Medición.
Diana (1980).

- 2.- Holman, J.P.
Microprocesadores.
Investigación y Ciencia, nov., 1977.
- 3.- Hent, Roger y Shelly, John.
Computadoras y sentido común.
Prentice/Hall Intercontinental (1977).
- 4.- Oliver, Bernard.
Microelectrónica e Instrumentación y Control.
Investigación y Ciencia, nov., 1977.
- 5.- Porta, A., Amano, E. y Masso, A.
Boletín de Difusión No. 6
Departamento de Física, Facultad de Ciencias UNAM.
- 6.- Fink, Donal G.
Electronics-Engineers Hand Book
McGraw Hill
- 7.- Millman-Halkias,
Integrated Electronics
McGraw Hill (1972).
- 8.- Tobey, G.E y Graeme, J.G.
Amplificadores Operativos Diseño y Construcción.
Diana (1978).

CAPITULO II

ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS

2.1. INTRODUCCION

En el capítulo I se habló de cómo está formado un instrumento de medición y de los detalles referentes a algunas de las formas en que se pueden detectar las diferentes variables físicas y cómo se acondicionan. Ahora es el turno de hacer un análisis del sistema de adquisición de datos, es decir de qué manera se puede constituir y cuál es la función de cada una de sus partes.

2.2. SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS

Un sistema de adquisición de datos es aquel que es capaz de capturar la información del medio exterior ya sea para almacenarla, procesarla o para presentarla de una forma reconocible y manejable para el usuario.

Para lograr que el sistema de adquisición de datos efectúe satisfactoriamente las funciones mencionadas se necesita que esté constituido por los siguientes módulos:

- Conversión analógica digital
- Proceso de la información
- Despliegue

Las características y funciones generales de éstos se dan enseguida,

2.2.1. MODULO DE CONVERSION ANALOGICA DIGITAL

Generalmente las variables que se presentan en los fenómenos físicos tienen un comportamiento analógico. Al tener este comportamiento, la información contenida en ellas no se puede manipular en un sistema digital hasta que su representación sea digital. Este cambio en la forma de representación se lleva a cabo usando un convertidor analógico digital, el cual va a proporcionarle al sistema digital la información de la manera en la que el puede trabajar con ella. Pero también será necesario que el usuario obtenga de una manera reconocible para él esa información ya sea en un osciloscopio, graficadora, impresora, etc. Para que esto sea posible es necesario efectuar nuevamente el cambio de representación de la señal digital a forma analógica; esto se puede lograr haciendo uso de un convertidor digital analógico.

Estas tareas del cambio en la representación son en realidad las funciones que debe desempeñar el módulo de conversión analógica digital. Por ello a continuación se da una descripción de las diversas maneras en que se pueden hacer estas conversiones.

- Muestreo de señales^{1,2}

Al tener una señal analógica y querer convertirla en una señal digital, es necesario hacer un muestreo de ella y después cuantizarla, para que la información contenida en ella se conserve y pueda ser reproducible. Para lograrlo, el muestreo de la señal debe realizarse con un criterio establecido para que la señal muestreada sea realmente representativa de la señal original. Es por ello que primero se dan algunas bases generales del muestreo y posteriormente se ve la forma de cuantizar una señal.

Cuando se efectúa el muestreo de una señal $f(t)$ durante P segundos, cada intervalo de tiempo $\Delta t = T$, se tiene la detección de los valores que toma $f(t)$ durante P segundos cada que t toma los valores $t = T, 2T, \dots, kT$ (donde k es un entero). La señal obtenida por el muestreo es un tren de pulsos denotado por $f_p^*(t)$. (ver figura 2.1)

El muestreo de una señal puede realizarse de diferentes maneras, algunas de ellas son:

- Razón uniforme.
- Razón múltiple.
- Aleatorio.
- Ancho de pulso.

El muestreo de razón uniforme es uno de los más usados. Este debe cumplir que los intervalos ΔT y P se mantengan constantes durante todo el tiempo de muestreo de la se-

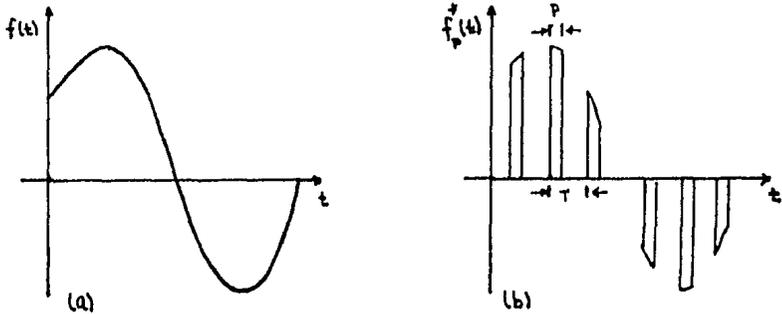


Figura 2.1. Señal $f(t)$ y su correspondiente señal muestreada $f^*(t)$.

ñal. (figura 2.1).

En el caso que ΔT y P no sean constantes se tiene el muestreo de razón múltiple.

El caso extremo en que ΔT y P varían de una manera aleatoria, es decir que el intervalo entre cualquiera de los muestreos sólo esté determinado por un esquema aleatorio, entonces tenemos un muestreo aleatorio.

El muestreo por ancho de pulso es cuando la señal muestreada, $f_w^*(t)$, tiene un ancho de pulso que varía en función de la magnitud de la señal de entrada en el instante del muestreo (figura 2.2).

Cualquiera de las formas de muestreo pueden verse co

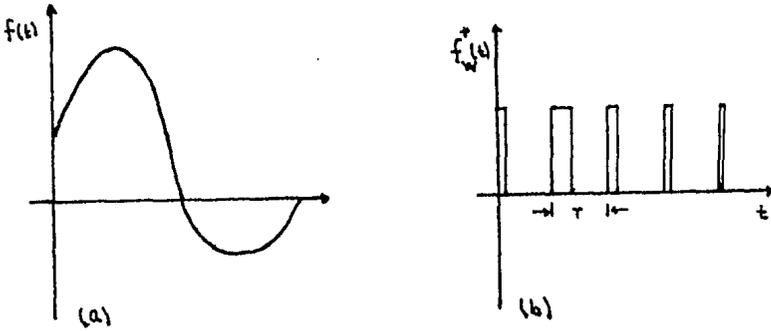


Figura 2.2. a) señal de entrada; b) señal muestreada por ancho de pulso.

mo una forma de modulación de pulsos, donde $f(t)$ es la señal de modulación y el tren de pulsos es la portadora (figura 2.3).

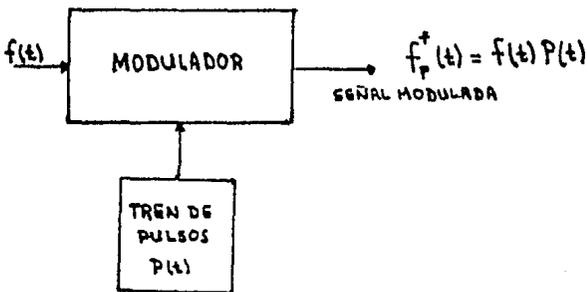


Figura 2.3. El proceso de muestreo visto como una modulación de producto.

Cuando se realiza el muestreo de una señal $f(t)$ se busca obtener una señal $f_p^*(t)$ que tenga la información suficiente para ser representativa de la señal original y en cualquier momento poder reproducir a $f(t)$ a partir de $f_p^*(t)$. Para que esto pueda ser posible, el período de muestreo T debe cumplir con el teorema de muestreo, que dice:

Si la señal $f(t)$ tiene un espectro de frecuencia en el intervalo $[0, w_1]$, y el período de muestreo es T , se tiene que si $w_s > 2w_1$, donde $w_s = 2\pi/T$, entonces se puede reconstruir completamente la señal $f(t)$ a partir de la señal muestreada $f_p^*(t)$.

Los elementos más simples para ejecutar las tareas de muestreo son los interruptores, los cuales pueden ser mecánicos, eléctricos, electromecánicos, electrónicos, etc. El interruptor permanece cerrado durante un lapso de P segundos y abierto antes y después.

Con el uso de los muestreadores se logra pues convertir una señal continua en una discreta, el paso siguiente es la cuantización de la señal muestreada.

- Cuantización de una señal.

El proceso de conversión de una señal analógica al correspondiente valor digital se denomina cuantización. Este proceso es una aproximación ya que la señal analógica puede tomar una infinidad de valores, mientras que la señal digital

sólo un número de valores reducido. La cantidad de valores está restringida por el número de dígitos binarios (BITS) que tenga el convertidor.

En el momento en que se tiene una señal que sólo cambia en cantidades fijas de tamaño q , entonces decimos que la señal está cuantizada y que q es el valor de cuantización (ver figura 2.4).

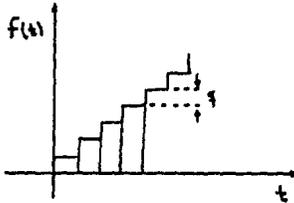


Figura 2.4. Señal cuantizada.

El proceso de conversión es realizado por un convertidor analógico digital.

2.2.2. CONVERTIDORES ANALOGICOS DIGITALES (CAD) Y CONVERTIDORES DIGITALES ANALOGICOS (CDA)

Un convertidor analógico digital toma una señal analógica y después de cierto tiempo produce una señal cuantizada que solamente toma ciertos valores discretos, es decir, un código digital de salida.³

La conversión digital analógica es básicamente el proceso de tomar un valor representado por un código digital (tal como binario o BCD) y convertirlo en una señal de voltaje o corriente que es proporcional al valor digital; la señal así obtenida toma valores discretos³.

Actualmente es raro que se instrumente un convertidor con componentes discretos debido a que la tecnología ha avanzado mucho en este aspecto y a que generalmente se tiene al alcance casi todo tipo de convertidores integrados en una sola pastilla con las características deseadas; con ello lo único que hay que hacer es efectuar la elección correcta del circuito integrado que se requiere. Es por esto que aquí sólo se va a dar una breve descripción de las formas más usadas de conversión en los circuitos integrados, para entender cómo es que realizan su función.

En el apéndice A se da una lista de algunas de las definiciones más usadas en las características que dan los fabricantes de los convertidores que se encuentran ya en forma de circuito integrado y también se presentan algunas tablas de clasificación de ellos.

- Convertidores digitales analógicos (CDA)

Dentro de las diferentes formas en que se puede realizar la conversión digital analógica, están las llamadas

R-2R y resistencia con peso. Estas se describen a continuación.

El convertidor R-2R^{4,5} es una malla resistiva cuyo voltaje de salida V_A es proporcional a la entrada digital. Una escalera binaria de n BITS se muestra en la figura 2.5.

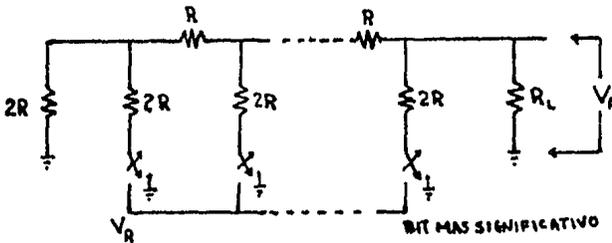


Figura 2.5. Escalera binaria de n BITS.

La malla R-2R puede ser tratada como una malla de entradas múltiples con una salida V_A . El principio de superposición puede ser aplicado para mostrar que el voltaje de salida es proporcional a la suma algebraica de los voltajes de cada entrada actuando independientemente.

Esta malla permite tener mucha precisión en la conversión debido a que se puede construir con resistencias de un solo valor (ya que 2R puede ser dos resistencias en serie). También existen pastillas integradas de mallas R-2R.

Convertidor de resistencias con peso⁵. En este tipo de mallas el valor de las resistencias usadas depende del BIT

que representa cada una y el número de BITS que la palabra a convertir tenga (figura 2.6).

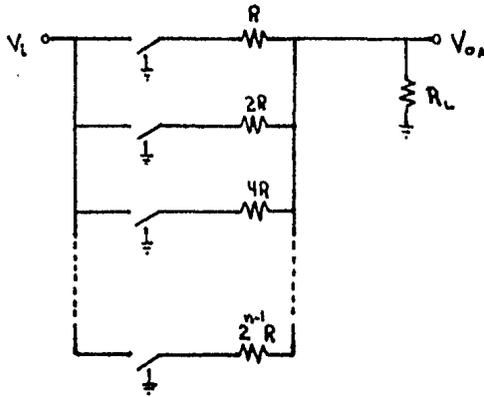


Figura 2.6. Convertidor de resistencias con peso.

El valor del voltaje de salida V_{0a} también puede encontrarse por superposición de cada una de las contribuciones de los BITS independientes. El gran inconveniente del uso de esta malla es que usualmente resulta muy difícil adquirir los valores exactos de las resistencias requeridas.

- Convertidores Analógicos Digitales (CAD)

Los convertidores analógicos digitales que trataremos son:

- Rampa.
- En paralelo.

- De aproximaciones sucesivas,

La conversión por conteo de rampa es una de las más simples pero tiene el gran inconveniente que su proceso de conversión es lento.

En la figura 2.7 se muestra el diagrama de un convertidor de rampa. El proceso de conversión empieza con un pulso de RESET al contador, lo que inicia el sistema a cero. El contador maneja al convertidor digital analógico. En el momento en que el contador recibe el primer pulso de reloj a través de la compuerta G_1 , el convertidor digital analógico recibe la primer palabra digital del contador para que V_{0a} sea comparado con el voltaje analógico V_{ia} que se va a convertir.

El convertidor digital analógico es pues esclavo del contador. La forma del conteo es creciente y la salida del voltaje V_{0a} es incrementada en cada conteo en un nivel de cuantización como se ilustra en la figura 2.8.

Cuando el conteo ha aumentado lo suficiente como para que el nivel de cuantización de V_{0a} sea ligeramente mayor que V_{ia} , el cambio de estado del comparador deshabilita la compuerta G_1 y el contador se detiene. Así queda en el convertidor digital analógico la palabra digital equivalente a la señal analógica V_{ia} y con esto se concluye la conversión.

Convertidor Analógico Digital en Paralelo⁵

El convertidor en paralelo, llamado a veces de conversión simultánea, es un convertidor de alta velocidad ya que usa un comparador para cada nivel de cuantización de la

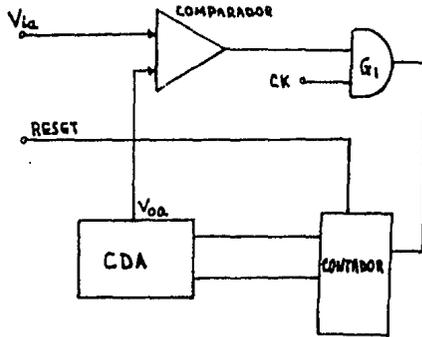


Figura 2.7. Convertidor analógico digital de rampa.

palabra digital que va a convertir, lo que permite que la conversión sea ejecutada en un solo paso. Este tipo de convertidores se usa cuando se requiere baja resolución y muy alta velocidad de conversión.

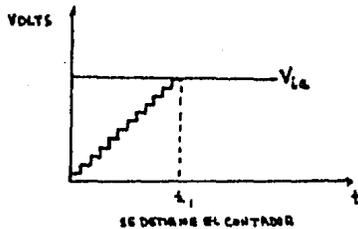


Figura 2.8. Forma en que se incrementa el voltaje V_{oa} del CDA.

Convertidor analógico digital de aproximaciones sucesivas⁶.

En la figura 2.9 se muestra el diagrama de bloques de un convertidor de aproximaciones sucesivas.

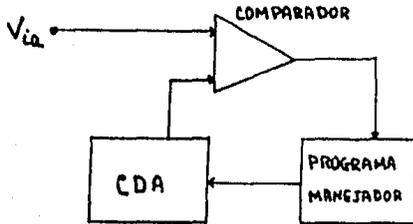


Figura 2.9. Convertidor analógico digital de aproximaciones sucesivas.

Estos dispositivos necesitan un convertidor digital analógico y un programa manejador de éste para poder ejecutar su función de conversión (Aunque también existen por HARDWARE).

El convertidor funciona como sigue: el programa manejador le da al convertidor analógico digital diferentes valores para que el valor V_{0a} sea comprado con el voltaje analógico de entrada V_{ia} . En el momento en que V_{0a} es igual (o alcanza el valor más cercano posible) a V_{ia} , entonces el valor digital que está en el CDA es el correspondiente a la conversión de V_{ia} . Una descripción en diagrama de flujo del programa manejador de la conversión está dado en la figura 2.10.

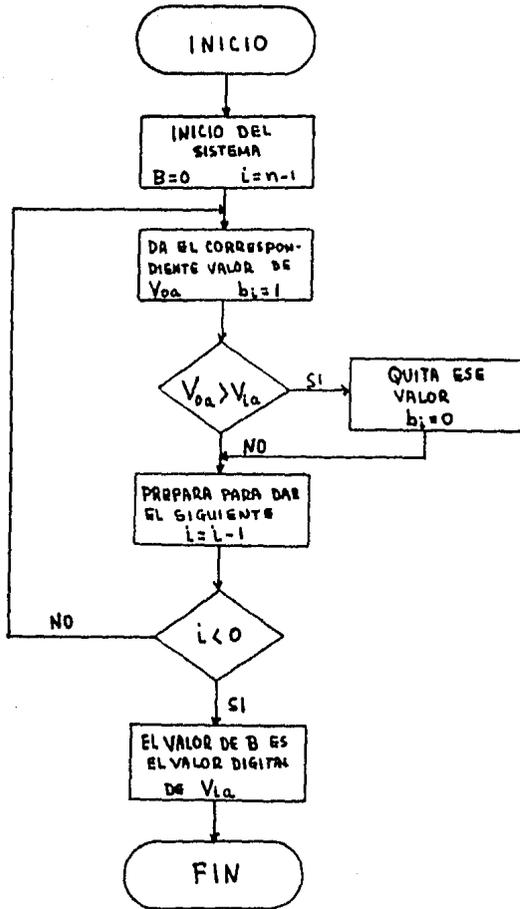


Figura 2.10. Diagrama de flujo que sigue el programa manejador de la conversión de aproximaciones sucesivas. Si el convertidor digital analógico es de n BITS, B será una palabra digital que está compuesta por el arreglo $B = b_n b_{n-1} \dots b_i \dots b_2 b_1$, donde b_i es el i 'esimo BIT de la palabra. V_{ia} es el voltaje analógico y V_{oa} es el voltaje del CDA.

Este tipo de convertidores analógicos digitales son los más usados con los sistemas microprocesadores, ya que el microprocesador es el que maneja a un convertidor digital analógico y realiza la conversión. Con este convertidor se obtiene buena resolución y mediana velocidad de conversión.

Las técnicas de conversión descritas son las más usadas en los dispositivos comerciales, ahora procedemos a ver cómo se puede realizar una elección adecuada de un convertidor.

- CRITERIOS DE SELECCION DE CONVERTIDORES ?

Para hacer la elección de un convertidor, sea analógico digital o digital analógico, se requiere primero de:

- A) Dar una completa definición de los objetivos del diseño teniendo claros los siguientes factores: nivel de las señales, precisión requerida, interfaces a usar condiciones ambientales, etc.
- B) Tener una idea clara del significado de las especificaciones de manufactura, ya que no siempre significan lo mismo los parámetros publicados en las especificaciones para diferentes manufacturas.

Cuando se hayan realizado las condiciones de los incisos A y B, se deberá tener una respuesta clara y detallada a cada uno de los siguientes puntos.

Para el caso del convertidor digital analógico:

- 1.- ¿Qué resolución se necesita?
- 2.- ¿Qué niveles lógicos y códigos pueden ser usados para que el equipo pueda operar el CDA?
- 3.- ¿Cuál es el intervalo de la señal de salida del convertidor digital analógico necesitado en el sistema?
- 4.- ¿Cuál es la velocidad de conversión requerida?
- 5.- ¿Sobre qué intervalo de temperatura puede operar el convertidor sin que tenga que reajustarse para cumplir con las especificaciones?
- 6.- ¿Qué tan estable son las salidas de las fuentes de poder que se usarán para alimentar al CDA?

Para el caso del convertidor analógico digital:

- 1.- ¿Cuál es el intervalo de voltaje de entrada?
- 2.- ¿Cuál es la resolución con la que la señal debe ser medida?
- 3.- ¿Cuál es el error permitido en la linealidad?
- 4.- ¿Cuál es el tiempo permitido para que el CAD realice una conversión completa?
- 5.- ¿Cuál es la estabilidad permitida en las fuentes de poder?
- 6.- ¿Cuál es el carácter de la señal de entrada?
¿presenta variaciones rápidas o lentas? ¿necesita ser acondicionada o no? etc.
- 7.- ¿Cuáles son las fuentes de error que pueden y deben minimizarse?

Existe un número muy grande de convertidores en el mercado, por lo que conviene subdividirlos en varias categorías.

Los convertidores, sean digitales analógicos o analógicos digitales, pueden clasificarse en los siguientes tipos:

- a) Propósitos generales
- b) Alta eficiencia
- c) Alta velocidad
- d) Alta resolución

Además

- e) Los CDA pueden ser convertidores diseñados para ac o referencia dc variante.
- f) Los CAD pueden ser converidores de muy baja potencia.

Una vez respondidas las preguntas planteadas y considerando la clasificación hecha de los convertidores, se puede proceder a hacer la elección del convertidor adecuado. En el apéndice A se proporciona una lista de definiciones de algunas características proporcionadas por los fabricantes de CDA y CAD.

Con esto se da por terminada la descripción del módulo de conversión analógica digital. Seguiremos ahora con el tratamiento del módulo de proceso. Para el caso tratado en nuestro trabajo este módulo será un sistema digital cuya parte esencial es un microprocesador.

2.2.3. MODULO DE PROCESO

En forma general los sistemas digitales cuya unidad central de proceso es un microprocesador reciben el nombre de microcomputador. Aunque no siempre es necesario todo un sistema microcomputador en un instrumento de medición, se es tudiarán cada una de las partes que lo componen, dado que puede usarse independientemente o como un sistema.

Un microcomputador está formado por:

- Unidad central de proceso (CPU o MPU)
- Memoria
- Interfaces de entrada/salida
- Periféricos

En la figura 2.11 se muestra la arquitectura general de un microcomputador. Ahora explicaremos las características y funciones principales de cada una de sus partes.

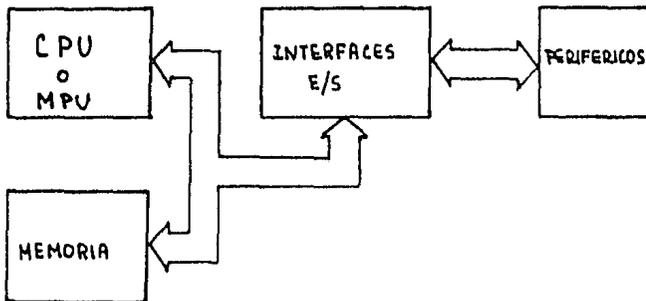


Figura 2.11. Arquitectura de un microcomputador.

- UNIDAD CENTRAL DE PROCESO (CPU o MPU)

Dado que la unidad central de proceso de los sistemas que nos interesan resulta ser un microprocesador, a continuación mencionaremos las características generales de estos. En particular nos referiremos al MC6800, en virtud de ser éste el que utilizaremos en el sistema de adquisición de datos propuesto en este trabajo para dar solución a algunos de los problemas de los laboratorios de física.

Microprocesadores⁸⁻¹²

La arquitectura general de un microprocesador se muestra en la figura 2.12. Aquí se tratará de explicar o definir cada una de sus partes, así como describir cuál es su función.

Canal .

Es una colección de líneas paralelas cuya función primordial es permitir la transferencia de datos, de señales de control y de señales de selección, entre los diferentes dispositivos que componen el sistema (llamados canales de datos, control y direcciones respectivamente).

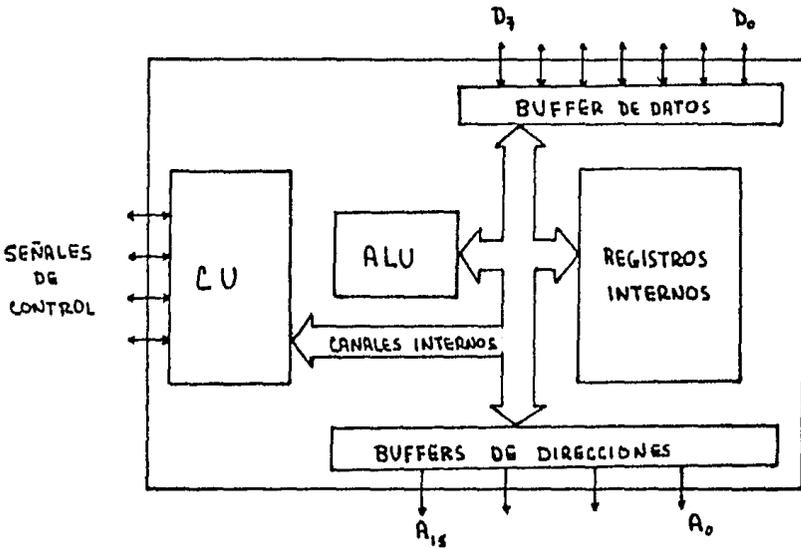


Figura 2.12. Arquitectura de un microprocesador.

Registros internos

Los más comunes son:

- 1.- Acumuladores.
- 2.- Contador de programa.
- 3.- Apuntador de STACK.
- 4.- Registro de condición.
- 5.- Registro índice.
- 6.- Registro de instrucciones.
- 7.- Registro de direcciones.

1.- Acumulador. Es un registro que puede realizar diversas tareas como por ejemplo: contener un operador que será

manejado por la unidad aritmética y lógica; almacenar el resultado de una operación efectuada; o funcionar como un almacén temporal de datos que será transferido a algún dispositivo.

2.- Contador de programa. Es un registro que contiene la dirección de la siguiente instrucción a ejecutar. Cada vez que se transfiere una instrucción de memoria al registro de instrucciones, el contador de programa se incrementa automáticamente con lo cual contiene ahora la dirección de la siguiente instrucción, a menos que el procesador encuentre una instrucción especial o de transferencia.

3.- Apuntador de STACK Y STACK. El STACK consiste de un número de localidades de memoria en RWM, normalmente sucesivas, que forman un sólo bloque y funciona como almacén temporal de información que es recuperable.

La información que puede ser almacenada es: el estado corriente del MPU, direcciones de regreso, o datos. Esta puede ser usada para los siguientes propósitos: control de interrupciones, enlace de subrutinas, almacén temporal de datos (bajo control de programa).

El apuntador de STACK es un registro de 16 BITS que contiene una dirección, la cual habilita al MPU para encontrar la localidad corriente del STACK.

4.- Registro de condición. Contiene la información sobre la última operación efectuada por el MPU (más específicamente por la unidad aritmética y lógica).

5.- Registro índice. Puede decirse que tiene dos funciones:

- Como almacén temporal de datos o direcciones.
- Como un registro que sirve para acceder datos, tomando como referencia la dirección contenida en él.

6.- Registro de instrucción. Este registro almacena la instrucción que va a ser ejecutada pero que aún no ha sido codificada.

7.- Registro de direcciones. Es un registro que contiene la dirección de la localidad que va a ser accesado para leer o escribir.

Unidad aritmética y lógica (ALU)

La unidad aritmética y lógica es una de las componentes esenciales de un microprocesador. Es una base operativa entre los registros y la unidad de control y, como su nombre lo indica, las operaciones que realiza son aritméticas y lógicacas.

Unidad de control (CU)

La unidad de control es la sección del microprocesa-dor encargada de dirigir la secuencia de operación de todo el sistema.

Mencionaremos ahora las características de un microprocesador relacionadas con la capacidad de programación.

Modos de direccionamiento.

Una característica general relacionada con la capacidad de programación de un microprocesador son los modos de direccionamiento. Estos se definen por las formas en que una instrucción puede ser definida o clasificada, y por cómo dependen del uso de los registros internos y de la memoria.

Algunos de los modos de direccionamiento son:

Direccionamiento extendido.- Este modo de direccionamiento permite al MPU referirse a cualquier localidad de memoria. El operando de la instrucción contiene la dirección a la cual se quiere tener acceso para leer, escribir o hacer una transferencia de control. Las instrucciones usadas en este direccionamiento utilizan tres BYTS: el primero es el código de operación, el segundo contiene los ocho BITS más significativos del operando y el tercero los menos significativos. La dirección contenida en el operando es una dirección absoluta.

Direccionamiento indicado.- Con este modo de direccionamiento se accede al dato contenido en la dirección referida en el operando de la instrucción. Esta dirección está referida con respecto al contenido del registro índice; es decir, al contenido del registro índice se le suma la cantidad indicada en el operando para que el dato deseado sea accesado. Con este modo de direccionamiento sólo se tiene acceso a localidades de memoria comprendidas entre el contenido del regis-

tro índice y las 255 localidades subsiguientes. La dirección que incluye el registro índice no se verá afectada con esta operación. Cualquier instrucción requiere dos BYTES, uno para el código de operación y el otro para el operando. Este último define la diferencia que existe entre la dirección a la cual se quiere tener acceso y el contenido del registro índice.

Direccionamiento directo.- Este modo faculta al MPU a acceder cualquier localidad de memoria de la página cero (las primeras 256 localidades). Las instrucciones usadas con este direccionamiento necesitan de dos BYTES: el primero corresponde al código de operación y el segundo a la dirección contenida en la página cero.

Direccionamiento relativo.- Esta forma de direccionamiento es disponible sólo para las instrucciones de ramificación condicional, incondicional y de subrutina. Ninguna de estas instrucciones puede ser usada con otro modo de direccionamiento.

Direccionamiento inmediato.- En este modo el operando de la instrucción contiene el dato que se va a operar. El operando podrá ser de un BYTE para instrucciones referidas a los acumuladores o de dos BYTES cuando esté referida al registro índice o al STACK. En ambos casos el código de operación hará implícito a cuál de estos registros se refiera.

Direccionamiento inherente.- Este modo de direccionamiento se utiliza para las instrucciones que no necesitan in-

cluir un operando para definir la operación a realizar.

Direccionamiento Indirecto.- En este caso el operando es una dirección en cuya localidad existe una dirección en la que está el dato a acceder o una dirección a la que se quiere saltar.

Direccionamiento acumulador.- El operando asociado a una instrucción en este modo de direccionamiento está siempre contenida en algún registro interno específico del MPU. Si la operación es transportada fuera, el operando debe primero ser movido a ese registro específico que comúnmente es llamado acumulador.

Otras características generales del microprocesador con respecto a la capacidad de SOFTWARE son que se pueden realizar operaciones como sumas en BCD, binario, doble precisión, restas en complemento a dos, etc. Además se puede hacer transferencia de datos de memoria al CPU o inversamente. A lo largo de un programa se pueden realizar saltos condicionales e incondicionales. También se tiene la capacidad de definir rutinas de usuario y algo que es de mucha importancia es el tener servicios de interrupciones, para de este modo poder crear subrutinas de interrupción.

Con esto damos por terminada la descripción de los aspectos generales de los microprocesadores.

En el apéndice B se da una descripción detallada del microprocesador MC6800²¹⁴ que es el que se usa en el sistema de adquisición de datos que se describe en el capítulo III.

-MEMORIA^{1 5}

Un dispositivo de memoria es el que permite almacenar información en un sistema digital para utilizarla en cualquier momento que se requiera.

Los dispositivos de memoria se pueden clasificar en diferentes grupos dependiendo de lo siguiente: tiempo de acceso, permanencia de la información, elementos electrónicos que la constituyen, formas de acceso a ellas.

El tiempo de acceso se define como el tiempo que transcurre desde el momento en el que se solicita la información y la información está disponible.

Si clasificamos a las memorias por su tiempo de acceso tenemos dos tipos: aleatorias y secuenciales.

Las memorias de acceso aleatorio (RAM) son memorias en las cuales la información puede escribirse o leerse de cualquier localidad de almacenamiento con el mismo tiempo de acceso.

Las memorias de acceso secuencial son memorias en las cuales la localización de una información particular se encuentra recorriendo sucesivamente las localidades anteriores de la memoria. En este tipo de memorias el tiempo de acceso no es constante, ya que va a variar dependiendo de la localización de la información requerida.

Si clasificamos a las memorias por la permanencia de la información se tienen dos grupos: volátiles y no volátiles.

Las memorias volátiles necesitan una fuente de poder para almacenar información y una pérdida de suministro eléctrico causa la pérdida de la información almacenada.

Las no volátiles son aquellas que mantienen la información aún sin suministro de energía eléctrica.

Por otro lado las memorias se pueden clasificar de acuerdo a los elementos que la constituyen en: estáticas y dinámicas.

Una memoria estática almacena cada BIT de información en una celda de memoria (transistor, flip-flop, etc.,) y esta información es retenida hasta el momento en que es cambiada.

Una memoria dinámica es un dispositivo en el cual la información es almacenada en forma de carga eléctrica en una compuerta de sustrato capacitivo de un transistor MOS. Esta carga se disipa en unos cuantos milisegundos y el elemento debe refrescarse (la capacitancia debe ser recargada) periódica mente.

La clasificación de las memorias por su forma de acceso es: de lectura y escritura, de sólo lectura.

Las memorias de lectura y escritura, como su nombre lo indica, son aquellas a las que se puede tener acceso tanto para leer como para escribir en ellas.

Algunas aplicaciones requieren memorias de acceso aleatorio que contengan información que esté almacenada de modo permanente o que se altere pocas veces. Tal almacenamien-

to permanente lo proporcionan las memorias de sólo lectura (ROM). La información se sitúa en la matriz de almacenamiento cuando se fabrica la pastilla. Hay otros dos tipos de memorias que se utilizan como de sólo lectura, que son las memorias programables de sólo lectura (PROM), y las que se pueden borrar y volver a programar para usar como memorias de sólo lectura (EPROM). Las memorias PROM y EPROM, se programan de manera similar a las memorias de acceso aleatorio; la información que se desea guardar se mantiene presente en la dirección deseada, mientras en una terminal o puerto indicado para este propósito se aplica un voltaje adecuado. Esto hace que en la o las localidades direccionadas se graben los datos contenidos en ellas. Cada modelo y marca de PROM y EPROM tiene una forma determinada de programarse que el fabricante especifica claramente.

INTERFACES

Una interfaz es un elemento de acoplamiento entre dos sistemas. Los hace compatibles habilitando dispositivos para dar o adquirir información de un sistema a otro.

Existen muchos tipos de interfaces: síncronas, asíncronas, serie, paralelo, etc, y su forma de operación es muy diferente. Aquí no nos detendremos en el estudio de ellas; sólo en el apéndice C se hace un estudio de la PERIPHERAL INTERFACE ADPTER (PIA), que es un elemento que será de mucha utilidad en el sistema de adquisición de datos que se trata en el capí

tulo III.

- PERIFERICOS

Los dispositivos periféricos son los elementos que van a permitir una interacción directa con el sistema, ya sea para que él adquiera la información del medio externo o para que la proporcione en una forma reconocible o manejable.

Entre algunos de los dispositivos periféricos más usuales se encuentran: graficadora, osciloscopio, teletipo, pantalla, impresora, etc. De ninguno de ellos se hará mención específica dado que su tratamiento queda fuera del interés de este trabajo.

2.3. SISTEMAS MICROCOMPUTADORES¹⁶⁻¹⁸

En las secciones anteriores se habló de las funciones y características de cada una de las partes que componen un sistema microcomputador. Veremos ahora la clasificación de éstos como función del uso que se les da.

Actualmente las áreas de aplicación de los sistemas microcomputadores son extremadamente variadas. Esto ha hecho que se encuentre un gran número de ellos en el mercado con diseño y construcción orientados a resolver desde los problemas más sencillos y específicos, hasta los más complejos y elaborados. La enorme variedad de sistemas existentes hace que la elección del más indicado para cada tarea requiera de

un cuidadoso proceso de selección que considere todas las necesidades a satisfacer, para así determinar claramente las especificaciones que el sistema elegido debe cumplir. Las especificaciones son usualmente dadas en términos de:

- Velocidad de proceso.
- Capacidad de memoria; interna en RAM y ROM; masiva en disco, cassettes, etc.
- Capacidad de proceso con base en el HARDWARE y SOFTWARE existentes en la máquina.
- Intefaces requeridas.
- Dispositivos periféricos necesarios para la adquisición y despliegue de información.
- Lenguajes de programación.
- Capacidad de expansión del sistema en HARDWARE y SOFTWARE.
- Costo.
- Apoyo comercial existente.

2.3.1. CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS MICROCOMPUTADORES

Como se dijo antes, el diseño y construcción de los microcomputadores va a depender del uso que se les vaya a dar. Con base en sus características y funciones a desempeñar éstos se clasifican en:

- Sistemas dedicados.
- Sistemas de uso general.
- Sistemas de desarrollo.

- SISTEMAS DEDICADOS

Los sistemas dedicados, o de aplicación especial, estan orientados hacia aplicaciones específicas.

Los sistemas de este tipo por lo general realizan secuencias fijas de operación. Dichos sistemas se pueden construir con características específicas para su utilización, tomando en cuenta su tamaño, peso, consumo de potencia, capacidad de memoria, etc., que son especificaciones que pueden ser críticas en ciertas aplicaciones tales como: prótesis, sistemas de control de aviones, sistemas de guía de proyectiles, etc.

En otras aplicaciones no es tan necesario hacer un diseño tan específico, por lo que los sistemas dedicados pueden construirse a partir de sistemas o elementos de cómputo fabricados comercialmente que cubran las características requeridas del sistema.

En este trabajo serán de nuestro interés los sistemas dedicados a resolver algunos problemas en los laboratorios de física; de hecho, el capítulo III se dedicará por completo a hablar sobre las características que debe cumplir un sistema dedicado a estas aplicaciones.

Algunos ejemplos de sistemas dedicados son: multímetros inteligentes, multicanales con microprocesador, terminales inteligentes, sistemas orientados a la enseñanza o a la programación, etc.

-SISTEMAS DE USO GENERAL

Las características de un sistema de aplicación general son tales que permiten resolver un gran número de problemas, debido a que su versatilidad permite utilizarlos para muy diversas aplicaciones.

La arquitectura de estos sistemas es la misma que se describió para un sistema micromputador en la sección anterior (Figura 2.12).

Algunas de las características deseables en estos sistemas son:

- Capacidad de memoria interna en RAM.
- Manejadores de memoria masiva (discos, cassettes, etc.)
- Manejo de dispositivos periféricos como: pantallas, impresoras, graficadoras, etc.
- Manejo de interrupciones.
- Capacidad de SOFTWARE que permita tener;: ensambladores, editores, sistemas operativos, compiladores, manejadores de lenguajes de alto nivel, etc.
- Capacidad de expansión.
- Existencia de apoyo en HARDWARE y SOFTWARE.

El pedir que un sistema de uso general tenga capacidad de memoria interna en RAM, permite que cuando se tengan almacenados en memoria los compiladores, sistemas operativos, editores, o cualquier otro programa, aún quede suficiente memoria para ejecutar las tareas deseadas.

Las memorias masivas dan gran versatilidad a las mi-

crocomputadoras para el manejo de archivos, cualquiera que sean las características de éstos.

El manejo de dispositivos periféricos como la pantalla, impresora etc., permiten al usuario una fácil interacción con el sistema.

El manejo de interrupciones es muy deseable sobre todo porque permite ejecutar tareas de control y multiprocesamiento entre muchas otras.

- SISTEMAS DE DESARROLLO

Un sistema de desarrollo debe tener todas las características de un sistema de uso general más la capacidad para generar sistemas prototipo y la capacidad de control de sistemas, ya que los sistemas de desarrollo pueden realizar emulaciones y evaluaciones de sistemas en HARDWARE y SOFTWARE y desarrollar sistemas dedicados.

A continuación se dan algunas de las características de los sistemas de desarrollo:

- Versatilidad y facilidad de ensamblar módulos para expandir al sistema.
- Incluir módulos de evaluación.
- Capacidad para instrumentar módulos periféricos que puedan ser configurados en el sistema.
- Capacidad de realizar emulaciones de sistemas.
- Debe contener rutinas de usuario y procedimientos para realizar depuración de los programas.

- Capacidad de desarrollo de SOFTWARE.
- Puede incluir un sistema manejador de archivos.
- Manejo de interrupciones tanto por HARDWARE como por SOFTWARE.
- Poder realizar funciones de control y/o monitorización.
- Manejo de interfaces periféricas y compatibilidad con dispositivos TTL.

2.3.2. OPCIONES DE INSTRUMENTACION DE UN SISTEMA DEDICADO

La importancia que tiene el conocer las características de los sistemas de uso general y de los sistemas de desarrollo es que permite evaluar su utilización en la instrumentación de sistemas dedicados.

Cuando se desea diseñar un sistema dedicado, primeramente debemos realizar un estudio exhaustivo de las características requeridas para que el sistema resuelva las necesidades establecidas. Al definir estas características se determinan las características de HARDWARE y SOFTWARE del sistema. Hecho ésto se puede elegir entre varias opciones.

- Un sistema mínimo; el cual sólo cumple las funciones específicas para lo cual se diseñó. En estos casos se realiza un diseño especial por cada elemento que componga el sistema. Por lo general este tipo de sistemas mínimos tienen como meta la comercialización, ya que de otra forma resultaría muy costoso el diseño específico sólo para un número muy redu

cido de sistemas.

- Cuando no se desea, o no importa, que el sistema se exceda un poco de las características mínimas, se utilizan módulos comerciales para formarlo, evitándose de esta manera el diseño específico de todo el sistema.

- Otra opción es un sistema de aplicación general, o un sistema de desarrollo, en el cual se puede instrumentar el sistema dedicado. En este caso el sistema dedicado formará sólo una parte del sistema total. Otra opción es que el sistema de desarrollo sirve para realizar el prototipo del sistema dedicado en cuestión, el cual es una emulación del sistema deseado.

La capacidad de HADWARE del sistema de desarrollo debe satisfacer todas las necesidades del sistema dedicado, aunque puede ser necesario construir las interfaces requeridas para el uso de los periféricos deseados.

Los programas a utilizar se preparan y se prueban usando el HARDWARE existente, probando que las direcciones y palabras de control sean correctas. Pedir que un sistema de desarrollo tenga un sistema de depuración de programas permite acompliar, ajustar, y hacer que el sistema trabaje íntegramente con el HADWARE y el SOFTWARE deseado.

Una vez que el sistema trabaja, usando el módulo de evaluación se hacen los ajustes necesarios para optimizar el sistema a las características de diseño.

Generalmente en este punto se realizan pruebas y evaluaciones intensivas en el medio ambiente de trabajo del sis-

tema para que, de no existir fallas de los programas, queden en su forma definitiva, incluyendo las necesidades de HARDWARE definidas en el prototipo.

Hasta aquí hemos descrito el funcionamiento de los módulos que componen un sistema o un instrumento de medición digital. En el siguiente capítulo se presenta un sistema de adquisición de datos dedicado a resolver problemas concretos que se presentan en los laboratorios de física.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Kuo, B.C.
Discrete-Data Control systems.
Prentice/Hall, Inc. (1970)
- 2.- Ogata, Katsuhiko
Ingeniería de Control Moderna
Prentice/Hall Internacional (1974)
- 3.- Tocci, Ronald J.
Sistemas Digitales, Principios y Aplicaciones.
Prentice/Hall Internacional (1977)
- 4.- Leach, Donald P.
Experiments in Digital Principles.
Mc Graw-Hill, 2a. edición (1981)
- 5.- Hoeschele
Analog-To Digital/Digital-to-Analog
Conversión techniques
Wiley (1968)

- 6.- Zarks, Rodney and Lasea, H.
Microprocessor Interfacing technique
Sydex, 3rd edition (1979)
- 7.- Analog Devices
Product Guide
Analog Devices, Inc. (1975)
- 8.- Gilmore
Introduccion to Microprocessors.
MC Graw-Hill
- 9.- Hoo-Min, D. Toong.
Microprocesadores
Investigación y Ciencia, Nov. 1977
- 10.- Peatman, John B.
The Design of Digital Systems.
McGraw-Hill Kogekushe (1972)
- 11.- Guerrero Guadarrama, Héctor
Experiencias sobre Microcomputadoras
Tesis Profesional
Facultad de Ingenierfa, UNAM (1979)
- 12.- Bishop, Ron
Basic Microprocessors and the 6800
Motorola Hayden Book Company, Inc.
- 13.- Microprocessor Applications Manual.
Motorola Semiconductor Products Inc. (1975).
- 14.- MC 6800 Microprocessors.
Programming Manual
Bech Mark Family.

For Micromputer Systems.

Motorola (1976).

15.- Hodges, David A.

Memorias Microelectrónicas

Investigación y Ciencia, nov. (1977)

16.- La Informática

Honeywell

17.- MC 6809

Exorciser user's Guide.

Systems Motorola (1979)

18.- Peatman, J.B.

Micromputer-Based Design

Internacional student edition.

LECTURAS ADICIONALES

- Bartee, Thomas C.

Digital Computar Fundamentals.

MC Graw-Hill, Kogakusha, 5th edition (1977)

- Deem /Muchow/Zeppa.

Work Bench Guide to Computar Circuits and Systems.

Raward Books (1979)

- Franklin, Game J. and Fowell, J. David.

Digital Control of Dinamic Systems.

Addision - Wesley (1980)

- Morris, Mano M.
Computer Logic Design.
Prentice-Hall (1972).
- Poe, Elmer.
Using the 6800 Microprocessors.
Howard W. Sams & Co. Inc. (1981)
- The complete Motorola Microcomputer
Data Library
Motorola (1978).

CAPITULO III

APLICACIONES DE UN SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS (SAD)

3.1. INTRODUCCION

En el capítulo I se habló de cómo se constituye un instrumento de medición, de sus funciones y cómo las puede efectuar, específicamente se trató cómo se pueden detectar algunas señales físicas, y de qué manera se pueden acondicionar estas señales para manipularlas. En el capítulo II se describió la forma en que un sistema de adquisición de datos puede constituir o ser parte de un instrumento de medición; además se habló de cada una de sus partes y cómo pueden ejecutar sus tareas.

Es en esta parte donde veremos cómo supervisar, procesar, etc., determinadas señales físicas. Veremos también de qué manera este tipo de sistemas ayuda a efectuar el análisis, proceso y control de un experimento o fenómeno que nos interesa observar.

Este capítulo resulta en cierto sentido central en cuanto a que en él se aplican los conceptos discutidos en los capítulos I y II para, con base en ciertas necesidades, instrumentar un sistema de adquisición de datos que nos sirva como herramienta esencial para resolver una serie de problemas de

diversa índole que se presentan en los laboratorios de investigación y de docencia de física. En particular describiremos cómo está constituido el sistema de adquisición de datos y cuáles son las funciones de cada una de sus partes. Una vez descrito todo el sistema se desarrollarán cuatro ejemplos para ilustrar la utilidad de nuestro sistema de adquisición de datos en la solución de ciertos problemas.

Es deseable que quede claro que aunque sólo se dedicará a dar solución a los cuatro problemas particulares, la versatilidad del sistema permite resolver muchos más, aunque algunos parcialmente.

3.2. EJEMPLOS A DESARROLLAR CON EL SAD

Los cuatro ejemplos que se van a desarrollar son:

- 1.- Observación de carga y descarga de un capacitor.
- 2.- Detección de un evento relevante.
- 3.- Procesamiento de dos señales (suma, resta, multiplicación, integración).
- 4.- Detección de la posición de un objeto.

A continuación se hace una descripción breve de los ejemplos, el propósito que se persigue de cada uno de ellos y de cómo el sistema de adquisición de datos será útil para resolverlo. Posteriormente se verá la forma específica de resolver cada ejemplo.

1.- Observación de carga y descarga de un capacitor.

Para este ejemplo se va a tener un circuito RC excitado por una señal $V_i(t)$, que será un tren de pulsos de baja frecuencia (menor a 10HZ.). Esta excitación va a provocar que el capacitor se descargue cada período de $V_i(t)$. La forma en que se va a observar la carga y descarga es obteniendo la gráfica del comportamiento que presentan las variaciones de la diferencia de potencial $V_o(t)$ en los extremos del capacitor (ver figura 3.1). Se desea obtener la gráfica en un osciloscopio o en una graficadora. También se buscará conservar la información.

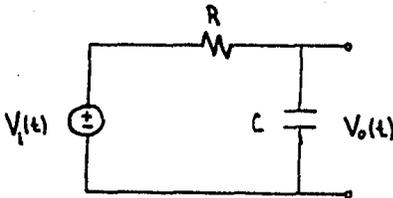


Figura 3.1. Circuito RC.

Para obtener la gráfica de $V_o(t)$ y conservar su información, el sistema de adquisición de datos deberá capturar, almacenar y desplegar la información de $V_o(t)$, ejecutando estas labores en tiempo real para no perder ningún dato acerca de su comportamiento (Se dice que un sistema trabaja en tiem-

po real si su tiempo de ejecución y respuesta es menor que el tiempo en que se presenta una solicitud de ejecución de una nueva tarea).

2.- Detección de un evento relevante.

Frecuentemente se tienen señales que presentan alguna peculiaridad (ver figura 3.2) de la cual se desea observar y conservar la información para analizarla posteriormente; a la obtención de esta información le llamamos detección de un evento relevante. Para la detección es necesario definir bien las características del evento relevante con objeto que el sistema de adquisición de datos realice la captura, almacenamiento y despliegue de la información deseada. Algunas veces es también necesario encontrar el máximo y el mínimo de la información obtenida, lo cual es una tarea que el SAD también puede efectuar. Una vez que el sistema haya realizado estas tareas puede hacer nuevos despliegues del evento relevante si se desea.

3.- Proceso de dos señales.

Cuando se tiene la información del comportamiento que presentan dos o más señales, algunas veces es necesario realizar con ella cierto procesamiento para su estudio o mejor comprensión de sus variaciones. Es por ello que en este ejemplo nos vamos a dedicar a ver cuál es la forma en que el

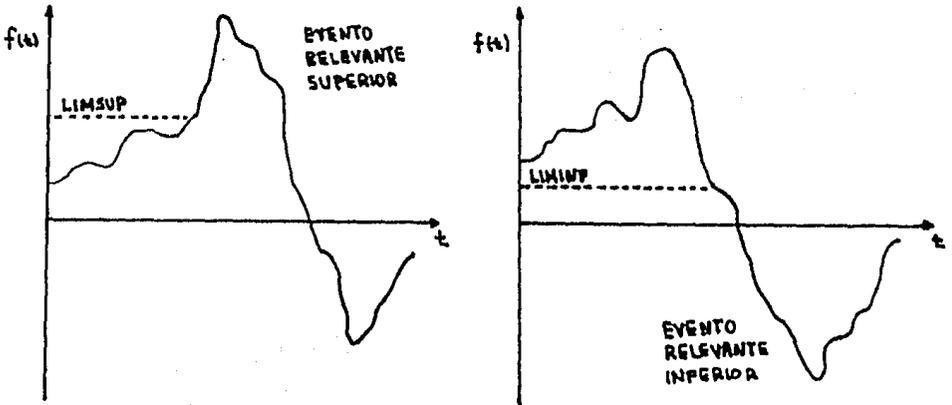


Figura 3.2. Eventos relevantes. En el caso del inciso a) decimos que se tiene un evento relevante superior y en el caso del inciso b) se tiene un evento relevante inferior.

sistema de adquisición de datos nos es útil para tal fin. Concretamente lo que se va a realizar es la captura, almacenamiento, proceso y despliegue de la información de dos señales; los procesos que se podrán efectuar son: suma, resta, multiplicación e integración de la información que se tiene de las dos señales.

4.- Determinación de la posición de un objeto.

Para los ejemplos anteriores no se requiere un elemento de detección ni de acondicionamiento, ya que se parte del hecho que las señales que se presentan son adecuadas para que el sistema de adquisición de datos las manipule. En este ejemplo se trata de ilustrar la manera de detectar y acondicionar una señal para que el SAD trabaje la información y la presente al usuario en la forma adecuada.

Se busca, pues, determinar la posición de un objeto con respecto a un punto de referencia. Para ello se utilizará un potenciómetro como transductor para que las variaciones que presenta la resistencia nos indiquen los cambios de posición del objeto. Habrá entonces que encontrar la función de transferencia y acondicionar la señal para que el SAD pueda manipular la información, es decir, convertir los cambios de resistencia a cambios en voltaje, que es la variable que el SAD puede aceptar

Una vez planteados los ejemplos y sabiendo lo que se desea obtener de cada uno de ellos, surgen las condiciones mí nimas que debemos esperar de las características del sistema de adquisición de datos. Lo que haremos ahora será establecer explícitamente todas las características que debe cubrir el SAD, para que con base en ellas se determine cada una de las partes que lo van a constituir.

3.3. FUNCIONES Y CARACTERISTICAS QUE DEBE SATISFACER EL SAD

Las funciones concretas que se le piden al sistema de adquisición de datos en los cuatro ejemplos son:

- Captura de datos de una o varias señales ya sea en forma continua, con intervalos fijos de captura, o en forma eventual, según el sistema o experimento lo requiera.
- Almacenamiento de información.
- Proceso de la información: cuando se tenga una señal debe ser capaz de ordenar y comparar datos, encontrar máximos y mínimos e integrar la señal; cuando se tengan dos señales, además de lo anterior debe ser capaz de sumarlas, restarlas y multiplicarlas.
- Presentación de la información: Debe ser capaz de realizar el despliegue en osciloscopio, graficadora, o proporcionar los listados en una impresora o pantalla.

Estas funciones requieren que el sistema tenga ciertas características para que puedan ser ejecutadas satisfactoriamente, a saber:

- Generación de intervalos de tiempo fijos.
- Manejo de interrupciones.
- Ejecución de secuencias fijas de proceso de la información.

- Memoria masiva para el almacenamiento de datos.
- Facilidad de manejo de diferentes elementos de despliegue.
- Control de procesos.
- Versatilidad en las interfaces para captura y despliegue de datos.
- Apoyo en SOFTWARE para realizar proceso y análisis de la información.
- Posibilidad de manejo de varias señales.

Estas características son las que se piden del SAD en general; para el caso del módulo de detección y del acondicionamiento las características que se requieren en cada ejemplo se darán según sea el caso. Con base en éstas se puede proceder a especificar cada una de las partes que van a constituir al sistema de adquisición de datos con el que se va a trabajar para el desarrollo de los ejemplos.

3.4. ELEMENTOS QUE VAN A CONSTITUIR EL SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS

El sistema de adquisición de datos que se va a formar con las características ya mencionadas, presenta el esquema del diagrama de bloques mostrado en la figura 3.3. Cada uno de los módulos se especifica a continuación.

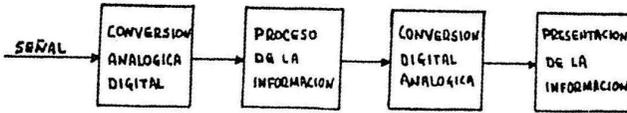
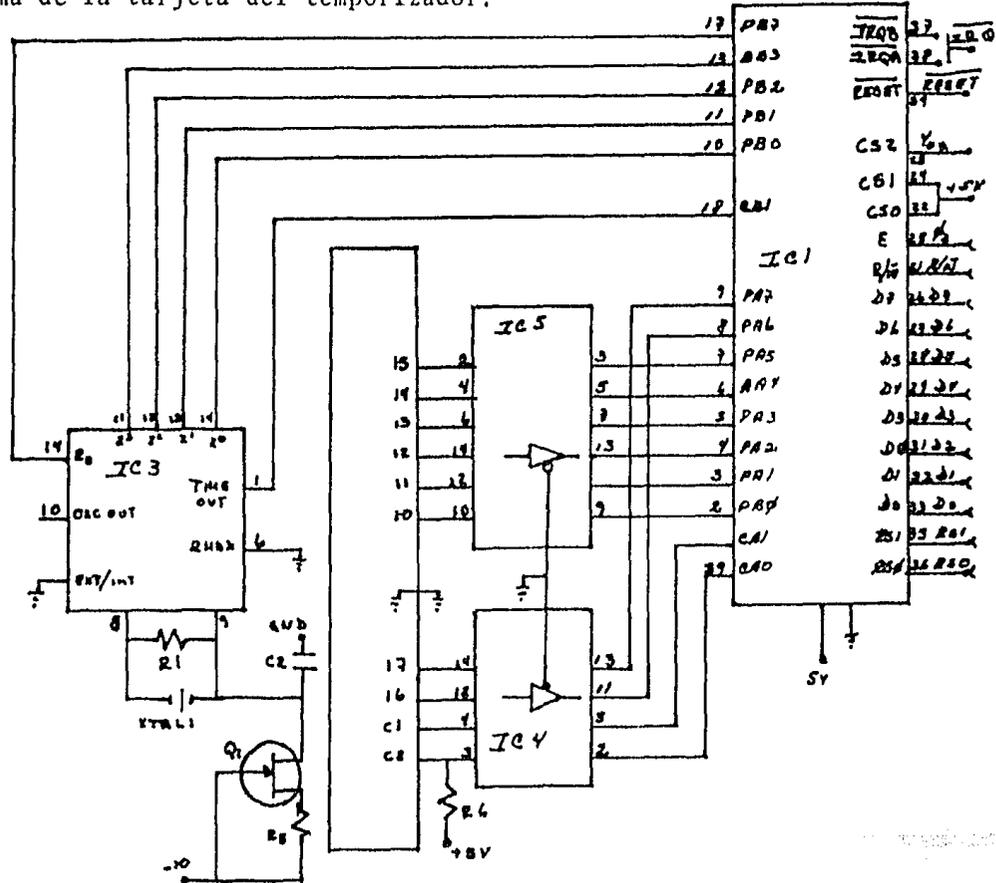


Figura 3.3. Diagrama de bloques del SAD.

3.4.1. MODULOS DE CONVERSION ANALOGICA DIGITAL

Las señales provenientes del módulo de detección o del de acondicionamiento van a ser señales analógicas que tendrán que convertirse a señales digitales para que el módulo de proceso pueda manejar su información. Para realizar la conversión de la señal, primero hay que efectuar una captura de la información en forma uniforme (aunque no necesariamente debe ser uniforme), para ello se necesita un elemento tal que genere los intervalos de tiempo fijos e indique al sistema que debe proceder a capturar un dato. La tarea de generar los intervalos de captura en forma uniforme y continua será realizado por un temporizador (TIMER), el cual estará constituido por una tarjeta cuyo diagrama se muestra en la figura 3.4. Esta tarjeta es compatible con el sistema microcomputa-

Figura 3.4. Diagrama de la tarjeta del temporizador.



IC1 = 6820
 IC3 = 45509
 IC4 = 74099
 IC5 = 74099
 XTAL1 = 1.0 MHz

dor SWTPC (que es el que se utilizará como módulo de proceso); ella irá conectada indirectamente a uno de los puertos del sistema y podrá ser usada y programada para generar los intervalos de captura por el sistema. Esta tarjeta se conoce con el nombre de "MP-T INTERRUPT TIMER" del sistema SWTPC.

La comunicación entre el sistema y el temporizador se da a través de una PIA y, por lo que se dijo anteriormente, la programación del temporizador se realiza desde la microcomputadora. La forma de proceder será configurar la PIA correctamente para que el temporizador genere los intervalos de captura y además avise al sistema para que efectúe la captura de un dato.

Para que el temporizador genere una interrupción al sistema cada intervalo de tiempo deseado es necesario configurar la parte B de la PIA como se indica la tabla 3.1.

Teniendo resuelto el problema de la generación de los intervalos de captura, veamos cómo se realiza la conversión de la señal analógica a forma digital.

Cada vez que transcurra el intervalo de tiempo fijado para la captura de datos, el temporizador dará un aviso de interrupción al microprocesador (MC6800), el cual atenderá la interrupción manejando el proceso de aproximaciones sucesivas, que es el método que se utiliza para la conversión de la señal.

La figura 3.5 muestra el diagrama de la tarjeta de conversión analógica digital; esta tarjeta es compatible con

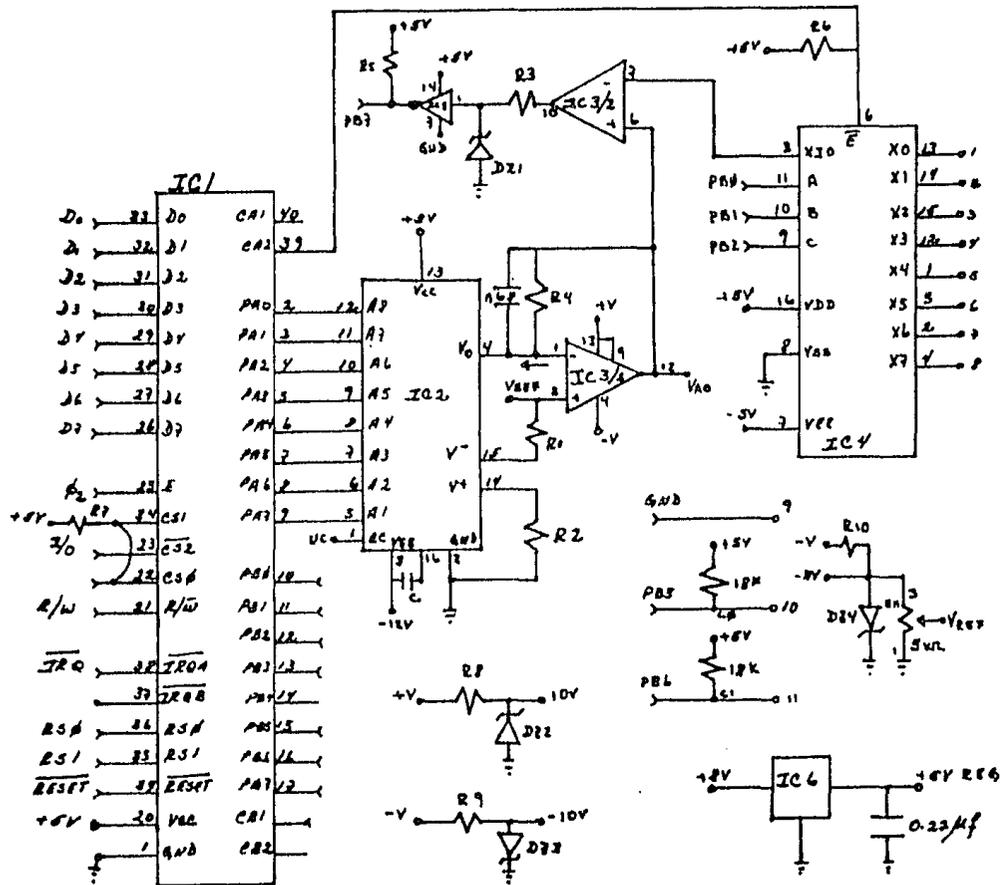
Código de configuración	Intervalo de tiempo
00	1 μ seg.
01	10 μ seg.
02	100 μ seg.
03	1 mseg.
04	10 mseg.
05	100 mseg.
06	1 seg.
07	10 seg.
08	100 seg.
09	1 min.
0A	1 hr.
0B	10 min.
0C	no hay salida
0D	no hay salida
0E	20 seg.
0F	no hay salida

Tabla 3.1. Forma de configuración del temporizador.

los puertos de la microcomputadora SWTPC y, como se puede observar en la figura 3.5, tiene una PIA que permite la comunicación directa con el microprocesador, la cual se tiene que configurar adecuadamente antes de iniciar el proceso de captura; el multiplexor tiene la finalidad de permitir el manejo de varias señales a la vez.

Cuando se ha terminado la conversión analógica digital, el valor del dato capturado queda en uno de los acumuladores del microprocesador listo para ser almacenado, procesado o desplegado.

Si el despliegue de la información quiere realizarse



IC1 = MC6P21
 IC2 = MC1408
 IC3 = MC334
 IC4 = MC334
 IC5 = SN7406
 IC6 = 7805

DZ1: $V_Z = 4.7V$
 DZ2 = DZ3: $V_Z = 10V$
 DZ4: $V_Z = 5V$

$R1 = R2 = 2.7k\Omega$
 $R3 = 10k\Omega$
 $R4 = 2.2k\Omega$
 $R5 = 2.7k\Omega$
 $R6 = R7 = 2.7k\Omega$
 $R8 = R9 = 100\Omega$
 $R10 = 2.2k\Omega$
 $R11 = 5k\Omega$

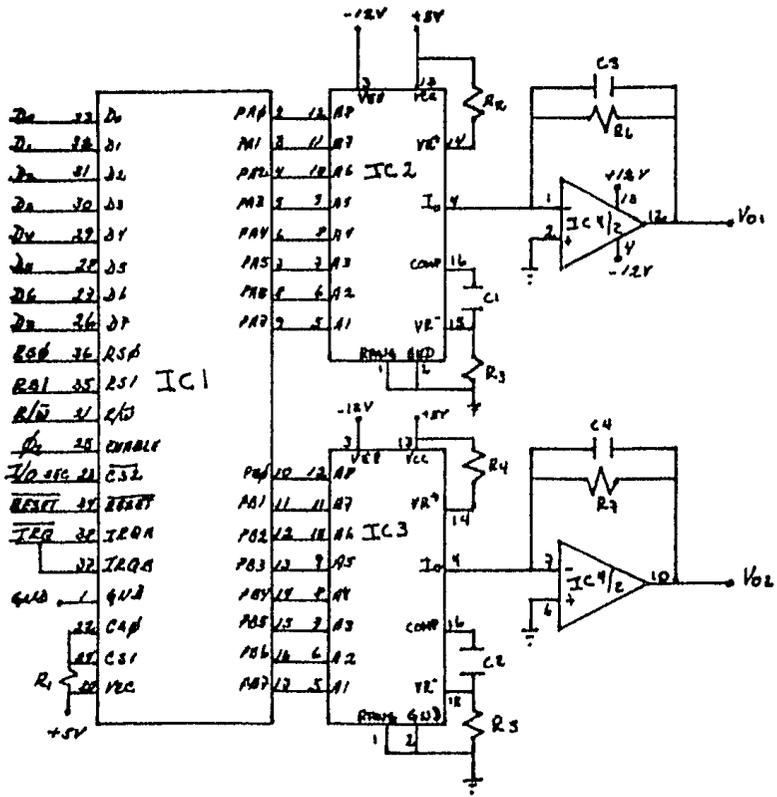
Figura 3.5. Diagrama de la tarjeta del convertidor analógico digital.

en un osciloscopio o en una graficadora, se tendrá que efectuar una nueva conversión de la información, a saber, de digital a analógica, para lo cual se utilizará otra tarjeta de conversión que también es compatible a los puertos de la SWTPC y cuyo diagrama se muestra en la figura 3.6. En este caso la conversión la efectúa directamente el convertidor que contiene la tarjeta; una vez que el microprocesador pone el dato en la PIA, el digital analógico efectúa la conversión y la señal se obtiene en la salida analógica. En el apéndice D se da una tabla de equivalencias entre los voltajes de la señal de entrada y de salida.

3.4.2. MODULO DE PROCESO

El elemento esencial del sistema de adquisición de datos es el módulo de proceso, que en nuestro caso específico está constituido por el sistema microcomputador SWTPC, el cual a a estar encargado de realizar todo el manejo y control de la información. Algunas de las características de la SWTPC se mencionan a continuación¹⁻²

- El MPU del sistema es un MC6800.
- El microprocesador tiene la capacidad de direccionar 64 KBYTES de memoria que están distribuidos entre RAM, ROM, PROM y puertos de entrada/salida. Para el caso de este sistema la memoria ha sido dividida en ocho bloques de 8 KBYTES: los 32KBYTES menos significativos fueron designados en RAM para el



IC1 = MC601
 IC2 = MC1408
 IC3 = MC1408
 IC4 = LM747

$R_1 = 1\text{ K}\Omega$
 $R_2 \dots R_7 = 2.7\text{ K}\Omega$

$C_1, C_2 = 83\text{ pF}$
 $C_3, C_4 = 56\text{ pF}$

Figura 3.6. Diagrama de la tarjeta del convertidor digital analógico.

usuario; los 32 KBYTES restantes no pueden ser direccionados por el usuario, es allí donde residen el monitor, sistema operativo, etc.

- Para usarse en los puertos de entrada/salida tiene las siguientes tarjetas disponibles: "MP-S SERIAL CONTROL INTERFACE TTY/RS232" para manejar la terminal, "MP-R EPROM PROGRAMMER USER'S", "MP-T INTERRUPT TIMER".
- Entre algunas de sus características en SOFTWARE se tienen: dos sistemas operativos FLEX 1 y FLEX 2, monitor, un editor de textos, un ensamblador, maneja varios BASIC, etc.
- Tiene un sistema de FLOPPY-DISK de 8'.

Con esto podemos dar por terminada la descripción del sistema de adquisición de datos que satisface las características que se pedían y que tiene la capacidad de realizar las funciones que se necesitan desempeñar en el desarrollo de los ejemplos.

3.5. DESARROLLO DE LOS EJEMPLOS EN LOS QUE SE UTILIZA EL SAD

En esta sección se ilustrará cómo el sistema de adquisición de datos puede usarse como una herramienta para resolver algunos de los problemas que se presentan en los laboratorios de física.

3.5.1. OBSERVACION DE CARGA Y DESCARGA DE UN CAPACITOR

La observación de la carga y descarga de un capacitor es en realidad un problema muy particular que se presenta frecuentemente en los laboratorios de física, especialmente en los de docencia. Aquí lo usaremos porque, además de la importancia que el problema tiene en sí, es muy ilustrativo para percibir la utilidad que tiene el sistema de adquisición de datos en la resolución de problemas en los que se quiera observar una señal.

Concretamente lo que se busca es obtener la gráfica, conservando la información, del comportamiento que presenta la diferencia de potencial $V_o(t)$ en los extremos de un capacitor en un circuito RC que es excitado por un tren de pulsos (ver figura 3.7).

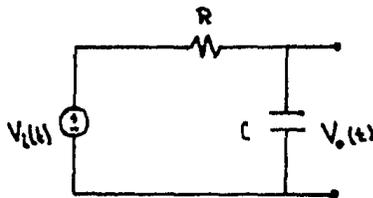
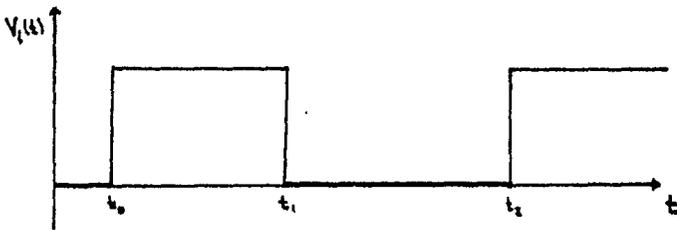


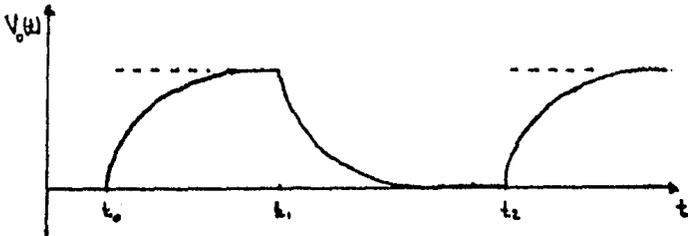
Figura 3.7. Circuito RC.

La señal de excitación al circuito $V_i(t)$ es un tren de pulsos de baja frecuencia como el mostrado en la figura 3.8 a.; el comportamiento de $V_o(t)$ esperado es como el que

se muestra en la figura 3.8 b).



(a)



(b)

Figura 3.8. a) Señal de excitación al circuito RC, $V_i(t)$.

b) Señal $V_o(t)$.

La relación que describe el comportamiento del voltaje en todo el circuito para todo tiempo es

$$V_i(t) = RC \frac{dV_o(t)}{dt} + V_o(t).$$

De donde se obtiene que, cuando $V_i(t) = V_i$, que serán los intervalos de carga del condensador (por ejemplo el intervalo $[t_0, t_1]$ en la figura 3.8a),

$$V_o(t) = V_i(1 - e^{-t/RC})$$

y, cuando $V_i(t)=0$, que serán los intervalos de descarga del condensador (intervalo $[t_1, t_2]$ en la figura 3.8a) se tiene

$$V_o(t) = V_i e^{-t/RC}$$

La amplitud de la señal $V_i(t)$ que usamos está en el intervalo de -2.5 volts a +2.5 volts y la frecuencia máxima es de 10 HZ. La constante de tiempo mínima en el circuito es de 10 mseg.

El despliegue de $V_o(t)$ puede hacerse en un osciloscopio o en una graficadora.

Una vez aclaradas las características del problema, y lo que deseamos obtener, veremos como darle solución y de qué manera el sistema de adquisición de datos va a servir para ello.

Si $V_o(t)$ reúne los requisitos mencionados (amplitud en el intervalo de -2.5 a 2.5 volts y frecuencia baja) no es necesario acondicionar la señal sino que puede ser manejada directamente por el convertidor analógico digital de nuestro SAD.

Entonces se va a usar al sistema de adquisición de datos para efectuar las tareas de captura, almacenamiento y despliegue en tiempo real de la información que presenta el comportamiento de $V_o(t)$.

El algoritmo que se sigue en los programas para que se puedan ejecutar estas tareas es:

1.- Iniciación del sistema.

En este paso se le dan todas las condiciones iniciales que debe tener el sistema para que pueda operar y realizar satisfactoriamente las tareas encomendadas. Realmente este paso puede describirse en tres etapas muy claras, a saber, iniciación de los registros internos (INSIST), iniciación de los puertos de entrada y salida (INPAD) y una última de iniciación del temporizador (INCK). La primera inicia al vector de interrupción (UIRQV), dándole la información del comienzo de la subrutina de interrupción; el registro (FLAG) se inicia con un valor diferente de cero que permite saber si la interrupción tuvo lugar y además si fue atendida, la forma de aviso consiste en hacer FLAG=0. En la segunda etapa se le dan las condiciones a los puertos para que la información sea capturada y desplegada; específicamente se hace que la PIA de entrada quede iniciada para que pueda ser manejada por el microprocesador para efectuar la determinación del valor analógico por el método de aproximaciones sucesivas; a la PIA de salida se le dan las condiciones para que los datcs puedan llegar al convertidor digital analógico y sean desplegados. Por último se inicia al temporizador para que interrumpa el microprocesador cada vez que transcurra el intervalo de tiempo que indica cuando

se debe de efectuar la captura de un dato, además queda listo para que empiece su funcionamiento en el momento que se le indique el intervalo de captura.

2.- Información al sistema.

En este paso el usuario le da información al sistema tal como: el intervalo de captura de los datos y el canal del multiplexor que va a obtener la información.

3.- Captura de un dato.

Para realizar la captura de un dato cada intervalo de tiempo establecido hay que habilitar al microprocesador para que permita la interrupción (HABI) y que una vez que ocurra ésta, la atienda por medio de una subrutina de interrupción (RSI) y realice la captura del dato (RCD). Cuando se ejecuta la subrutina de servicio de interrupción se avisa al sistema (haciendo el registro FLAG=0) que la solicitud llegó y que es atendida efectuando la captura de un dato, quedando en una localidad de almacenamiento temporal (DATO1).

4.- Almacenamiento.

Aquí lo único que hay que hacer es tomar el dato de la localidad de almacenamiento temporal (DATO1) y ponerlo en un archivo de datos (LISTA).

5.- Despliegue.

También aquí se toma el valor del dato de la lo-

calidad de almacenamiento temporal y se pone en el puerto de salida para que sea convertido a un valor analógico y pueda ser presentado en un osciloscopio o graficadora.

6.- ¿Se terminó de tomar datos?

El número total de datos que se van a tomar es 1 KBYTE (esto se puede cambiar si se desea), entonces cada vez que realiza una captura pregunta si ya terminó de tomar todos. Si aún faltan datos por capturar entonces se va al paso 7 (PERDI). En caso de que no falten datos se procede a deshabilitar al sistema (DESHAB), que es el paso 9.

7.- ¿Se perdió algún dato?

En este paso se pregunta si se perdió al menos una solicitud de captura; si no se perdió ninguna se vuelve nuevamente al punto 3 donde se habilita al microprocesador para aceptar la solicitud de interrupción (HABI). Para el caso en el que se haya perdido alguna solicitud se procede a dar un aviso de que el sistema ya no está trabajando en tiempo real (punto 8).

8.- Avisa que el sistema perdió algún dato.

Si el sistema ya no está trabajando en tiempo real lo que hará es detener su funcionamiento, porque entonces ya no estará cumpliendo con una de las características que se habían pedido del proceso.

9.- Deshabilitación del sistema.

Cuando se hayan capturado todos los datos que se

desean, se procede a deshabilitar a los puertos y al temporizador para terminar con sus funciones.

Con esto tenemos la secuencia que sigue el programa, el cual en forma de diagrama de flujo se muestra en la figura 3.9. Al final del capítulo, se encuentran los programas empleados.

Una gráfica obtenida en el desarrollo de este ejemplo se muestra en la figura 3.10. De ésta se puede obtener información deseada tal como la constante de tiempo C , la razón de cambio de $V_0(t)$, etc.

Por otro lado la organización de los datos y los programas en la memoria interna de la microcomputadora se muestran en la tabla 3.2. Proporcionamos esta información por si el usuario desea obtener los datos de los archivos, o examinar alguna región de la memoria.

Como se mencionó al inicio, este ejemplo tenía la finalidad de obtener y conservar la información de la carga y descarga del capacitor; con estos programas se pueden además resolver problemas en los que se necesite supervisar el comportamiento de una señal conservando o no su información, en lo único que hay que tener cuidado es que la señal sea acondicionada adecuadamente para que el sistema de adquisición de datos pueda manipularla.

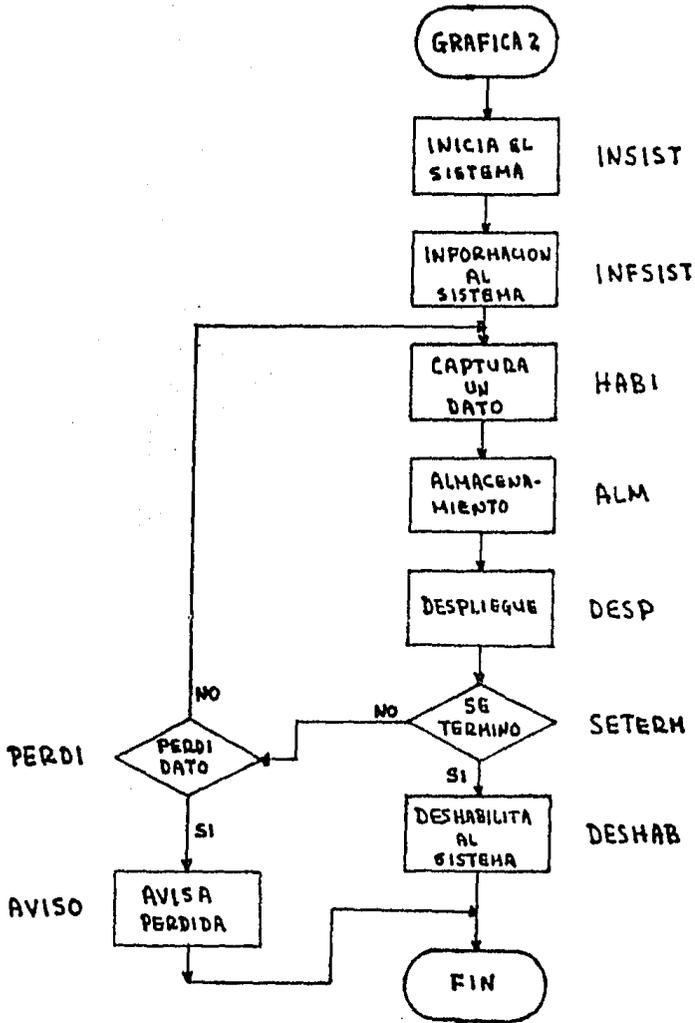


Figura 3.9. Diagrama de flujo que ilustra el proceso de captura, almacenamiento y despliegue de la información de $V_0(t)$.

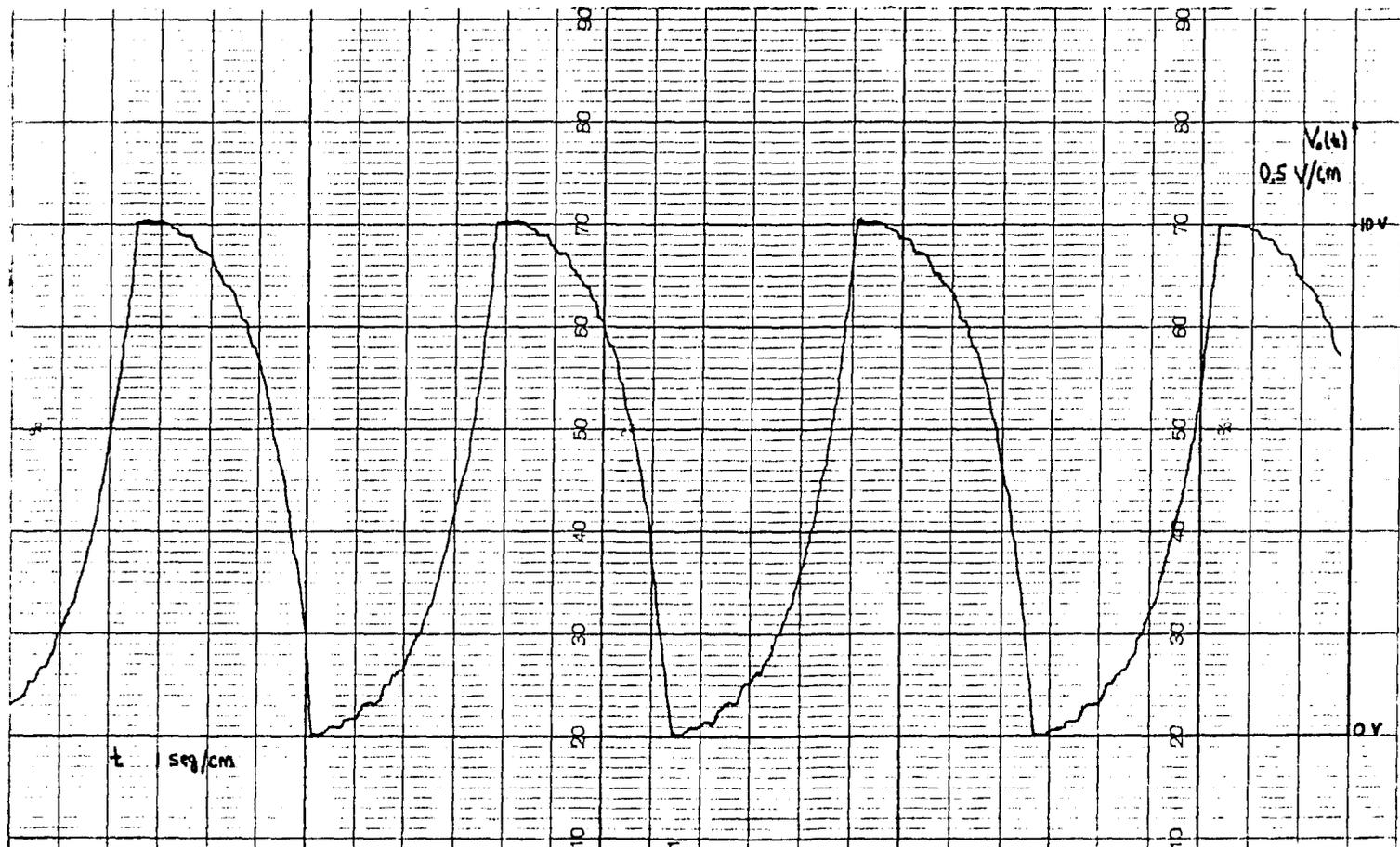


Figura 3.10. Gráfica de $V_0(t)$ obtenida por el SAD.

	FFFF
Localidades reservadas para el sistema (monitor, sistema operativo, stack, etc.).	
	8020
Puertos internos	801F
	8000
Programas para el usuario en Basic	7FFF
	5000
Archivo de datos (LISTA)	4FFF
	4100
Archivos de datos procesados	40FF
	3000
Programas en ensamblador	2FFF
	2700
Basic	26FF
	0000

Tabla 3.2. Forma en que se organizó la memoria interna de la SWTPC.

3.5.2. DETECCION DE UN EVENTO RELEVANTE

Con frecuencia es necesario trabajar con señales que presentan alguna peculiaridad o comportamiento que interesa observar detalladamente. Por ello resulta de importancia obtener información que permita realizar un análisis cuidadoso

del evento. Para ilustrar cómo se puede ejecutar la labor de obtener la información con ayuda del sistema de adquisición de datos, dedicamos la presente sección.

A la obtención de la información del comportamiento de interés le llamaremos detección de un evento relevante, el cual, en el caso de este ejemplo, puede ser de dos tipos: evento relevante superior o evento relevante inferior.

Primero estableceremos que si dado un valor, llamado LIMSUP, la señal toma valores mayores a él, entonces a todo el comportamiento de la señal a partir del LIMSUP se le llama evento relevante superior; para el caso en el que dado un valor, llamado LIMINF, la señal toma valores menores a él, entonces a todo el comportamiento de la señal a partir del LIMINF se le llama evento relevante inferior (ver figura 3.11)

Ahora veremos cómo se realizarán las labores requeridas y cómo se va a utilizar al sistema de adquisición de datos en el desarrollo de este ejemplo. El SAD deberá estar su pervisando la señal y en el momento en el que se presente el primer dato del evento relevante, se encargará de que la información del evento relevante sea almacenada y desplegada. Esta información capturada es una peculiaridad que presenta la señal, por lo que puede ser de utilidad conocer algunas características como su máximo y su mínimo, por lo que deberá efectuarse una rutina para que determine tales valores. El sistema también podrá, si es que se desea, efectuar nuevos despliegues del evento relevante. Para que todas estas labo-

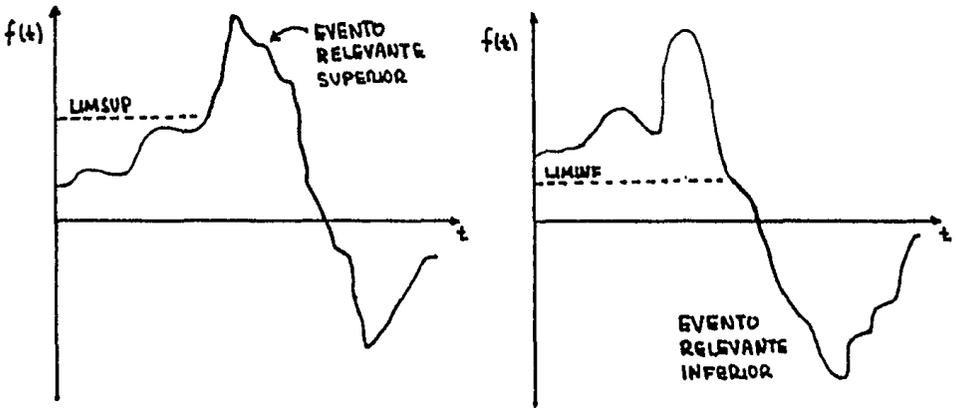


Figura 3.11. Eventos relevantes: a) Superior, b) Inferior.

res puedan ser ejecutadas adecuadamente se siguen los pasos siguientes (algunos de los pasos no se explican porque ya fueron detallados en la sección 3.5.1):

- 1.- Iniciación del sistema.
- 2.- Información al sistema.

En este paso hay que darle al sistema la siguiente información: Cuál es el intervalo de captura; qué canal del multiplexor se va a utilizar para la entrada de la señal; qué tipo de evento va a ser, relevan

te superior o relevante inferior; y cual es el valor del límite superior o inferior según sea el caso (ver apéndice D, porque estos últimos valores hay que darlos en forma decimal).

3.- Captura de un dato.

4.- ¿El dato capturado es relevante?

Dado que en el paso número dos se le informó al sistema qué tipo de evento sería el que se iba a detectar y también se le dio el valor del LIMSUP, o LIMINF según sea el caso, entonces el dato capturado se compara con el valor correspondiente y se determina si es relevante o no. En el caso que sea relevante se procede al paso 5. En caso que no sea relevante se procede a capturar otro dato (paso 3).

5.- Almacenamiento.

6.- Despliegue.

7.- ¿Se terminó de tomar datos?

El número de datos que se van a tomar del evento relevante es alrededor de 1 KYTE, por lo que cada vez que realice una captura se preguntará si terminó; en el caso en el que no se haya terminado se seguirán capturando datos (HABI), paso 8. Si se terminó se procederá a determinar el máximo y el mínimo del evento relevante (MYM) que es el paso 9.

8.- Captura un dato.

La forma de capturar el dato es la misma que an-

tes sólo que una vez que se tenga el dato se procederá a almacenarlo, ya no se pregunta si es relevante.

9.- Determinación del máximo y el mínimo.

Cuando se haya terminado de detectar todo el evento relevante se procederá a determinar el máximo y el mínimo del evento, cuyos valores serán guardados en las localidades del mismo nombre, correspondientemente.

10.- Nuevo despliegue del evento relevante.

En este paso se puede cambiar el tiempo de presentación de la información, esto es, en esta secuencia primero se inicia al temporizador con el tiempo que se desee presentar los datos y posteriormente procede al nuevo despliegue

11.- ¿Se desea un nuevo despliegue?

En el caso en el que se desea un nuevo despliegue del evento relevante se procederá a ejecutarlo, según se indicó en el paso anterior; pero si no se desea el nuevo despliegue, entonces se da por terminada la detección del evento relevante

El diagrama de flujo que sigue la secuencia antes mencionada se muestra en la fig. 3.12 y el programa está el final del capítulo.

La prueba de que estos programas ejecutan las labores deseadas, se hicieron con señales muy simples que se ob-

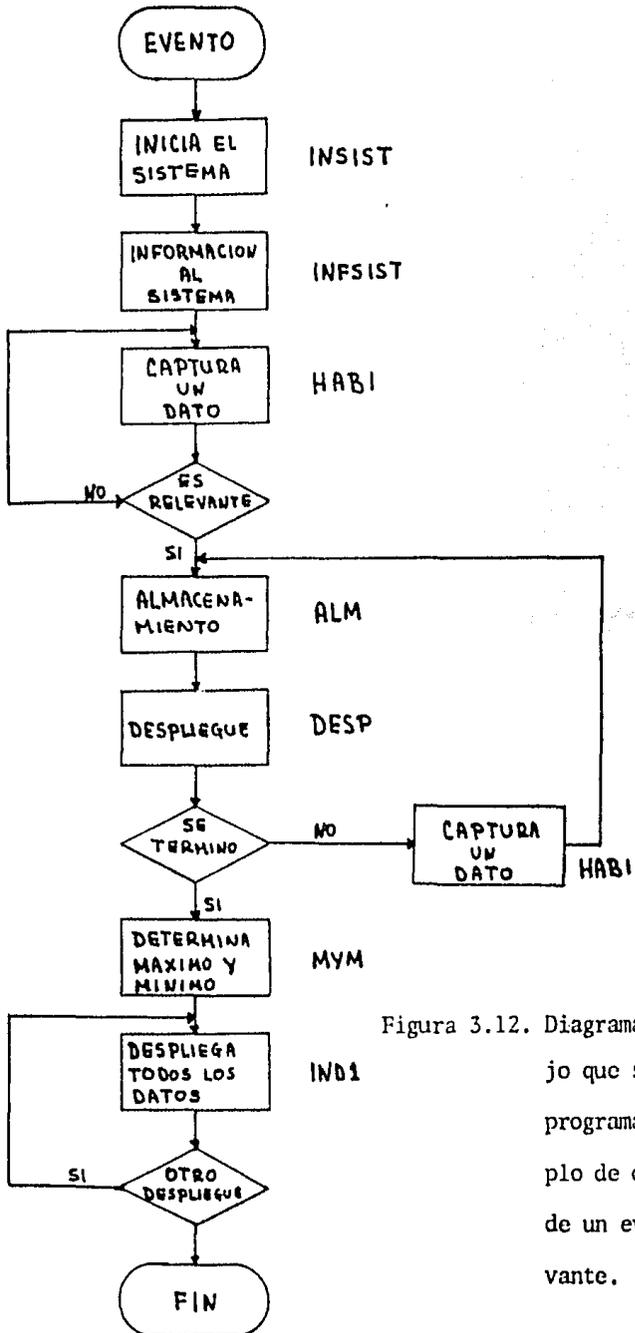


Figura 3.12. Diagrama de flujo que sigue el programa del ejemplo de detección de un evento relevante.

tuvieron de un generador de señales y su despliegue se obtuvo en un osciloscopio, sin embargo el sistema de adquisición de datos y los programas tienen la capacidad de manejar cualquier tipo de señal, siempre y cuando se le acondicione a los niveles adecuados para que puedan ser manipuladas por él.

En problemas tales como observación de regiones específicas de un espectro, observación de la respuesta a estímulos (nerviosos, cardíacos, respiratorios, etc.) en seres vivos, determinación del máximo y/o el mínimo en el comportamiento observado de un espectro, etc., son problemas en los que el SAD puede ser de mucha utilidad para darles una solución o ayuda parcialmente a obtener lo que se desea.

3.5.3. PROCESO DE SEÑALES

En los dos ejemplos anteriores se vio una forma de capturar, almacenar y desplegar la información del comportamiento que presenta una señal o variable física. Sin embargo existen problemas en los que esto no es suficiente para efectuar un análisis satisfactorio de dicha información. Es por ello que el propósito de esta sección es mostrar una forma de procesar la información obtenida que permita un análisis e interpretación más completa del comportamiento de la señal.

En este ejemplo se va a trabajar con dos señales de entrada, es decir, se va a efectuar la captura, almacenamiento, proceso y despliegue de las dos señales. Los procesos

que se van a poder realizar son: suma, resta, multiplicación e integración de la información proveniente de las variables.

Veamos cómo satisfacer estas necesidades. Lo primero es determinar cómo efectuar la captura de dos señales. Las dos señales van a estar presentes en dos canales del multiplexor para que los datos sean capturados. Sobre este punto es importante notar que el proceso de captura de las dos señales no puede realizarse simultáneamente, ya que el valor del dato capturado es determinado por el microprocesador empleando el método de aproximaciones sucesivas, lo que le impide determinar más de un valor a la vez. Esto involucra un error en el proceso de las señales, porque los valores que se procesan (suma, resta, etc.) no corresponden al mismo instante (es decir, no son simultáneas); el retardo de uno de ellos se debe al tiempo que tarda el microprocesador en determinar el valor de una de las señales (el tiempo de conversión), antes de poder atender la captura del valor de la otra señal.

Una vez capturada la información sobre las señales se almacena y se puede efectuar el proceso deseado, que será cualquiera de los mencionados anteriormente.

Una observación importante es que antes de efectuar cualquier proceso a las dos señales debe cuidarse que la magnitud de las señales procesadas no excedan el intervalo que puede dar a la salida el módulo de conversión, digital analógica, dado que esto provocaría la pérdida de la información

debido a la saturación del módulo de despliegue,

El algoritmo que sigue el programa de proceso de señales de entrada es: (Los pasos que no se dan fueron detallados en las secciones anteriores).

1.- Iniciación del sistema.

2.- Información al sistema.

3.- Captura de un dato de cada señal (2 señales).

La secuencia que se sigue en este paso es la misma que para el caso de una señal, nada más que realiza la secuencia de captura de un dato (RCD) en dos canales distintos, antes de atender la solicitud de una nueva interrupción (HABIZS).

4.- Almacenamiento de dos datos.

Lo que hace aquí es tomar los dos datos de las correspondientes localidades de almacenamiento temporal (DATO1 y DATO2) y ponerlos en el archivo de datos (LISTA).

5.- ¿Se terminó de tomar todos los datos?

6.- Despliegue de las dos señales.

Ya que se terminó de tomar todos los datos de las dos señales entonces se efectúa el despliegue de las dos señales, primero una y después la otra.

7.- Determina qué proceso se quiere.

Aquí se determina cuál es el proceso que se de-

sea, suma, resta, multiplicación o integración.

8.- Ejecuta el proceso que se desea.

Una vez que se ha determinado el proceso que se quiere, se ejecuta y se guarda la información de la señal ya procesada en un archivo de datos llamado LISPRO.

9.- Despliegue de la señal procesada.

Una vez que se efectuó el proceso de la señal, se toman todos los datos del archivo LISTPRO y se despliegan por el puerto correspondiente.

10.- ¿Se desea otro proceso?

En caso en que se quiera otro proceso, se regresa al paso número 6 para que se determine qué proceso y se repita la secuencia; para el caso en que no se quiere otro proceso, entonces se da por terminado el programa.

El diagrama de flujo de este algoritmo se muestra en la figura 3.13 y los programas se encuentran al final del capítulo.

Los procesos de suma, resta, multiplicación e integración de la información de las señales se efectúan en el ámbito del BASIC, lo que se hace es tomar los datos del archivo de datos LISTA, procesarlos y almacenar la información en el archivo de datos procesados, para que posteriormente sean desplegados.

El método que se sigue para efectuar la integración de la señal es el de la regla trapecial.

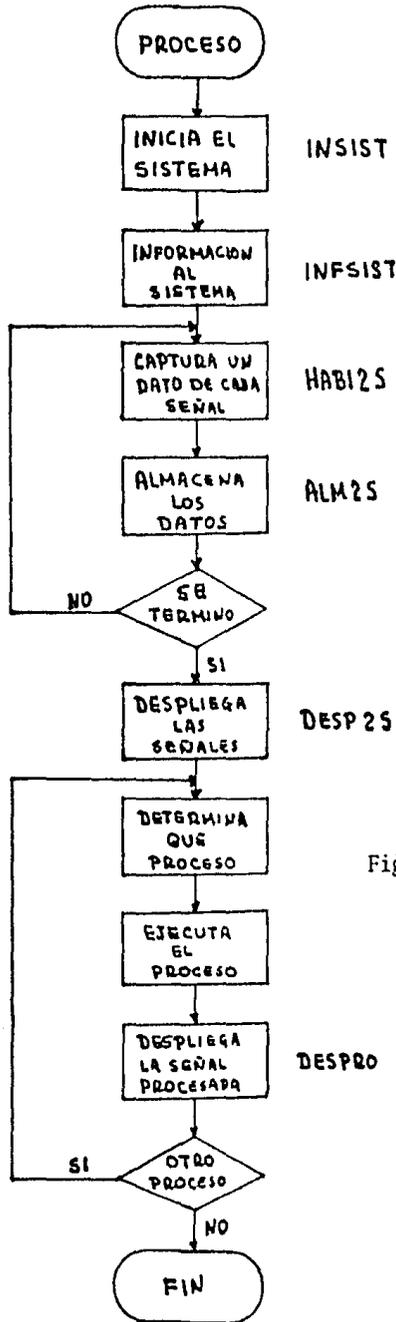


Figura 3.13. Diagrama de flujo que si que el programa del ejemplo de proceso de señales.

Para el caso en el que se desea más de un proceso de las mismas señales ya capturadas, y se quiera conservar la información del proceso realizado, se tendrá que guardar esta información antes de efectuar el siguiente proceso por que los datos procesados se guardan en el mismo archivo, provocando que se pierda toda la información anteriormente almacenada en estas localidades.

3.5.4. DETERMINACION DE LA POSICION DE UN OBJETO

El problema que se tiene es el siguiente: se tiene un eje que puede girar 360° , ya sea en sentido de las manecillas del reloj o en sentido opuesto, con respecto a un punto conocido. Lo que se quiere es determinar cuál es el ángulo que gira con respecto a ese punto de referencia.

Para determinar cuál es el ángulo de giro se va a utilizar un potenciómetro como transductor, el cual variará su resistencia dependiendo de cuanto sea el giro que se le dé. El potenciómetro que se eligió es un elipot de 10 vueltas cuya resistencia varía de 0 a 100Ω . Sus variaciones son en forma lineal con respecto al ángulo de giro (La variación de un grado corresponde a un cambio de 2.8Ω aproximadamente).

Dado que nuestro sistema sólo puede percibir variaciones en corriente o voltaje, tenemos que adecuar la señal de tal forma que las variaciones en la resistencia sean correspondientes a cambios de voltaje. También hay que conside

rar que la máxima resolución del convertidor analógico digital se obtiene en el intervalo de $-2,5\text{ V}$ a $+2.5\text{ V}$. Para esto usamos (ver figura 3.14) dos fuentes de voltaje de $+12.5$ y -12.5 V . El punto de referencia en el potenciómetro se fija en 500Ω , que va a corresponder a 0° ; así, cuando el eje gira hasta 360° en sentido de las manecillas del reloj, se tiene que la resistencia aumenta a 600Ω y en el caso opuesto disminuye a 400Ω .

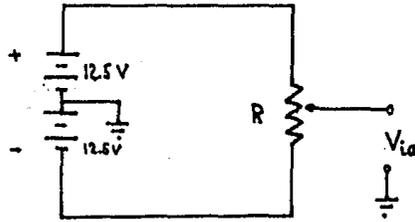


Figura 3.14. Conexiones del potenciómetro para determinar la posición del eje.

En el caso de la figura 3.14, V_{ia} será la señal que entre al canal del multiplexor de la tarjeta del convertidor analógico digital del sistema de adquisición de datos; con esta configuración logramos obtener la máxima resolución, ya que V_{ia} varía en todo el intervalo permitido de -2.5 V a $+2.5\text{ V}$,

logrando con ello una resolución de 3° en la determinación del ángulo de giro del eje (ver el apéndice D).

La señal V_{ia} se da pues como la variable de entrada el convertidor analógico digital, el sistema determina el valor del ángulo que giró el eje y presenta en la pantalla de la terminal del sistema el valor en grados. La relación que se aplica es

$$P = (u \times 2.8) - 360,$$

donde P es el ángulo que giró el eje, u es el valor (en decimal) de V_{ia} que fue determinado por el convertidor analógico digital del sistema.

El algoritmo que se sigue para la ejecución de esta labor de determinación de la posición es el siguiente (los pasos que no se expliquen, fueron detallados en las secciones anteriores):

- 1.- Iniciación del sistema.
- 2.- Información al sistema.
- 3.- Captura un dato.
- 4.- Determina el valor del dato.

En este paso se toma el valor del dato capturado de la localidad de almacenamiento temporal (DATO 1), que es el valor de u en la relación $P = (u \times 2.8) - 360$, y ejecuta las operaciones para determinar el valor de P para que posteriormente se presente en la pantalla.

5.- ¿Se desea tomar un nuevo dato?

Si se desea tomar otro dato se regresa al paso 3 para efectuar la captura del nuevo dato; en caso en que no se desee, se procede a la deshabilitación del sistema.

6.- Deshabilitación del sistema.

El diagrama de flujo que sigue este algoritmo se muestra en la figura 3.15 y los programas correspondientes se encuentran al final del capítulo.

En el caso de este ejemplo, si se desea se puede hacer que el SAD trabaje en tiempo real y que esté continuamente determinando la posición del eje. Además se puede desplegar la información en un osciloscopio o una graficadora; también se puede almacenar toda la información si es necesario.

A continuación presentamos los programas utilizados para los ejemplos. Primeramente mostramos el programa en ensamblador utilizado para todos los ejemplos. Enseguida se presentan los programas en BASIC particulares para cada ejemplo.

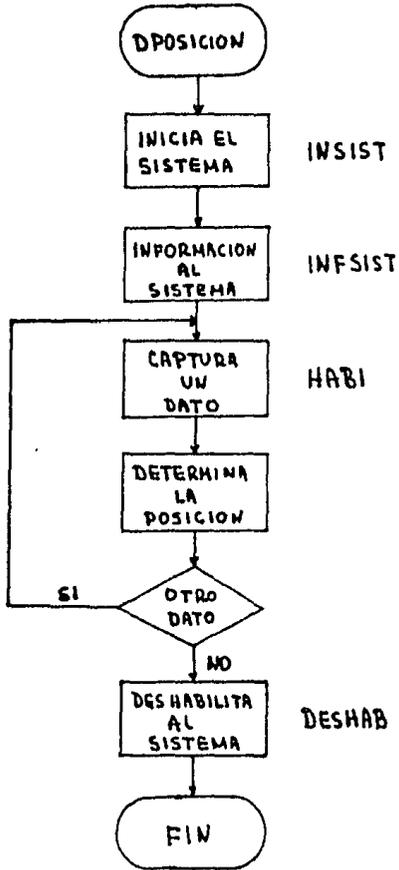


Figura 3.15. Diagrama de flujo que sigue el programa del ejemplo de determinación de la posición de un objeto.

NAM ADATOS

- * SUBROUTINA DE ADQUISICION DE DATOS
- * SE TIENEN QUE REALIZAR LAS SIGUIENTES TAREAS:
- * - HABI HABILITACION DE INTERRUPCION
- * - RSI SERVICIO DE INTERRUPCION
- * - RCD CAPTURA DEL DATO
- * - RET SERVICIO DE ESPERA
- * PRIMERAMENTE SE HABILITA LA INTERRUPCION PARA
- * INICIAR LA CAPTURA DE DATOS CADA INTERVALO DE
- * MUESTREO YA DETERMINADO. SI EXISTE INTERRUPCION
- * SE AVISA POR MEDIO DE LA LOCALIDAD FLAG (FLAG=0
- * HAY INT.). SE ATIENDE LA INTERRUPCION Y SE DE-
- * TERMINA EL VALOR DEL DATO MUESTREADO DE LA SENAL
- * QUE ESTA POR EL CANAL ESPECIFICADO DEL MULTI-
- * PLEXOR. EL METODO POR EL CUAL SE DETERMINA ES
- * EL DE APROXIMACIONES SUCCESIVAS; EL VALOR DETER-
- * MINADO QUEDA EN LA LOCALIDAD DATO1.

8008		PDRB	EQU	\$8008		REG. DE DAT. PIA MANEJA APOX. SUCES.
800A		PDRB	EQU	\$800A		REG. DE DAT. PIA MANEJA ANALOG-MUX.
800C		PDRB1	EQU	\$8002		REG. DE DAT. PIA MANEJA TIMER.
2702		FLAG	EQU	\$2702		LOC. QUE AVISA CUANDO HAY INTERRUP.
2703		DATO1	EQU	\$2703		LOC. DE ALMAC. TEMP. DEL DAT. CAPT.
2705		CANAL	EQU	\$2705		LOC. QUE ESP. EL CANAL DE LA SENAL 1
270E		TIEMPO	EQU	\$270E		LOC. PARA EL TIEMPO DE MUESTREO
2720			ORG	\$2720		
2720	B6 27 0E	ADQ	LDA A	TIEMPO		DA EL TIEMPO
2723	B7 80 02		STA A	PDRB1		DE MUESTREO.
2726	0E	HABI	CLI			PERMITE INTERRUPCION
2727	7D 27 02	PREG	TST	FLAG		HUBO CAPTURA?
272A	2E FB		BNE	PREG		NO, ESPERA
272C	7C 27 02		INC	FLAG		SI, CAMBIA LA BANDERA
272F	39		RTS			
2730	B6 80 02	RSI	LDA A	PDRB1		APAGA BANDERA INTERRUP.
2733	7F 27 02		CLR	FLAG		AVISA QUE ESTA EL DATO
2736	BD 27 3E		JSR	RCD		CAPTURALO
2739	32		PUL A			CAMBIA EL BIT I
273A	8A 10		ORA A	##10		DEL CC QUE ESTA
273C	3E		PSH A			EN EL STACK.
273D	3B		RTI			
273E	B6 27 0E	RCD	LDA A	CANAL		DA EL CANAL DE LA SENAL
2741	B7 80 0A		STA A	PDRB		A MUESTREAR
2744	CE 80	ETIQ0	LDA B	##80		PON EN A PRIMERO A COMP
2746	4F		CLR A			LIMPIA ACCA
2747	1B	ETIQ1	ABA			EN ACCA ESTA EL DATO A COMP.
2748	B7 80 08		STA A	PDRB		AHORA EN EL IOP

274B 0D 11		BSR	RET	ESPERA UN RAYO
274D 7D 00 0A		TST	PDRB	FUE MAYOR?
2750 2A 05		DPL	ETIQ3	SI, VETE A QUITARLO
2752 54	ETIQ2	LBR B		NO, DA EL SIG.
2753 25 05		BCB	FIN1	TERMINE?
2755 20 F0		BRA	ETIQ1	NO, SIGUE EL PROCESO
2757 10	ETIQ3	SBA		QUITA EL BIT DE ACCA
2758 20 FB		BRA	ETIQ2	Y VE A DAR EL SIGUIENTE
275A B7 27 03	FIN1	BTA A	DAT01	ALMACENA EL DATO
275D 39		RTS		
275E 01	RET	NOP		
275F 01		NOP		
2760 01		NOP		
2761 01		NOP		
2762 01		NOP		
2763 01		NOP		
2764 01		NOP		
2765 01		NOP		
2766 01		NOP		
2767 01		NOP		
2768 01		NOP		
2769 01		NOP		
276A 01		NOP		
276B 01		NOP		
276C 01		NOP		
276D 39		RTS		

NAM ADAT062S

- * SUBROUTINA DE ADQUISICION DE LOS DATOS DE DOS SENALES
- * SE TIENEN QUE REALIZAR LAS SIGUIENTES TAREAS:
- * - HABI2S HABILITACION DE LA INTERRUPCION
- * - RSI2S SERVICIO DE INTERRUPCION
- * - RCD2S CAPTURA DE DOS DATOS
- * - RET
- * PRIMERAMENTE SE HABILITA LA INTERRUPCION PARA:
- * INICIAR LA CAPTURA DE DATOS CADA INTERVALO DE
- * MUESTREO YA DETERMINADO. SI EXISTE INTERRUPCION
- * SE AVISA POR MEDIO DE LA LOCALIDAD FLAG (FLAG=0
- * HAY INT.). SE ATIENDE LA INTERRUPCION Y SE DETERMI-
- * NAN LOS VALORES DE LOS DATOS MUETREADOS DE LAS SENALES
- * QUE ESTAN POR LOS CANALES ESPECIFICADOS DEL MULTIPLEXOR.
- * EL METODO POR EL CUAL SE DETERMINAN ES EL DE APROXIMA-
- * CIONES SUCESIVAS; LOS VALORES DETERMINADOS QUEDAN EN
- * LAS LOCALIDADES DAT01 Y DAT02.

2716	CANAL2	EQU	\$2716	LOC. QUE ESP. EL CANAL DE LA SENAL2
2717	DAT02	EQU	\$2717	LOC. DE ALM. TEMPORAL DEL DAT.CAP.

276E	01	27	84	ADQ2S	LDX	#RSI2S	PON LA DIRECCION DE INICIO
2771	FF	A0	00		STX	UIRQV	DE LA RUTINA DE SERVICIO DE INTERRUPT.
2774	0E	27	0E		LDA A	TIEMPO	DA EL TIEMPO DE MUESTREO
2777	07	80	02		STA A	PDRB1	AL TIMER
277A	0E			HABI2S	CLI		PERMITE INTERRUPTCION
277E	7D	27	02	PREG2S	TST	FLAG	HUBO CAPTURA?
277E	26	FB			BNE	PREG2S	NO ESPERA
2780	7C	27	02		INC	FLAG	SI, CAMBIA BANDERA
2783	39				RTS		
2784	0E	80	02	RSI2S	LDA A	PDRB1	APAGA BANDERA INTERRUPT.
2787	7F	27	02		CLR	FLAG	AVISA QUE ESTA EL DATO
278A	2D	27	92		JSR	RCD2S	CAPTURALO
278C	32				PUL A		CAMBIA EL BIT I
278E	8A	10			ORA A	#*10	DEL CC QUE ESTA
2790	3E				PSH A		EN EL STACK.
2791	7B				RTI		
2792	8E	00		RCD2S	LDA A	#*00	SELECCIONA EL CANAL 1
2794	B7	80	0A		STA A	PDRB	DEL ANALOG.MUX.
2797	C6	80		ETIQ02S	LDA B	#*80	PON EL PRIMERO A COMPARAR
2799	4F				CLR A		LIMPIA EL ACCA
279A	1B			ETIQ12S	ABA		EN ACCA ESTA EL DATO A COMP.
279E	B7	80	08		STA A	PDRA	AHORA EN EL IOP
279E	2D	BE			BSR	RET	ESPERA UN RATO
27A0	7D	80	0A		TST	PDRB	FUE MAYOR?
27A3	2A	05			BPL	ETIQ32S	SI VETE A QUITARLO
27A5	54			ETIQ22S	LSR B		NO, DA EL SIGUIENTE
27A8	25	05			BCS	FIN2S	TERMINE?
27A8	20	F0			BRA	ETIQ12S	NO SIGUE EL PROCESO
27AA	10			ETIQ32S	SBA		QUITA EL BIT DE ACCA
27AB	20	FB			BRA	ETIQ22S	Y VE A DAR EL SIGUIENTE
27AD	B7	27	03	FIN2S	STA A	DAT01	ALMACENA LA SENAL 1
27B0	8E	01			LDA A	#01	HABILITA EL CANAL 2
27B2	B7	80	0A		STA A	PDRB	PARA HACER LA CAPTURA
27B5	C6	80		ET02S	LDA B	#*80	PON EL PRIMER DATO A COMPARAR
27B7	4F				CLR A		LIMPIA EL ACCA
27BE	1B			ET12S	ABA		EN ACCA ESTA EL DATO A COMP.
27B9	B7	80	08		STA A	PDRA	AHORA EN EL IOP
27BC	8D	A0			BSR	RET	ESPERA UN POCO
27EE	7D	80	0A		TST	PDRB	FUE MAYOR?
27C1	2A	05			BPL	ET32S	SI, VETE A QUITARLO
27C3	54			ET22S	LSR B		NO, DA EL SIGUIENTE
27C4	25	05			BCS	FIN2S2	TERMINE
27C6	20	F0			BRA	ET12S	NO SIGUE EL PROCESO
27C8	10			ET32S	SBA		QUITA EL BIT DEL ACCA
27C9	20	FB			BRA	ET22S	Y VE A DAR EL SIGUIENTE
27CB	B7	27	17	FIN2S2	STA A	DAT02	GUARDA EL DATO DE LA SENAL 2
27CE	39				RTS		

NAM ALMACEN

- * SUBROUTINA DE ALMACENAMIENTO DE DATOS
- * SE TOMA EL VALOR DEL DATO MUESTREADO DE LA LOCALIDAD DE ALMACENAMIENTO TEMPORAL DATO1
- * Y SE GUARDA EN LA LISTA. EL REGISTRO INDICE
- * ES EL APUNTAADOR DE LA LISTA. EL CUAL DESPUES DE ALMACENAR EL DATO SE INCREMENTA. EN EL ACUMULADOR A QUEDA EL VALOR DEL DATO.

27CF B6 27 03	ALM	LDA A	DATO1	TOMA EL VALOR DEL DATO
27D2 A7 00		STA A	0,X	Y GUARDALO EN LA LISTA
27D4 08		INX		INCREMENTA EL APUNTAADOR
27D5 39		RTS		

NAM ALMACEN2S

- * SUBROUTINA DE ALMACENAMIENTO DE LOS DATOS DE DOS SENALES. SE TOMAN LOS VALORES DE LOS DATOS MUESTREADOS DE LAS LOCALIDADES DE ALMACENAMIENTO TEMPORAL DATO1
- * Y DATO2 Y DESPUES SON GUARDADOS EN LA LISTA. EL REGISTRO INDICE ES EL APUNTAADOR DE LA LISTA. EL CUAL DESPUES DE ALMACENAR EL DATO SE INCREMENTA.

27D6 B6 27 03	ALM2S	LDA A	DATO1	TOMA EL VALOR DEL DATO1
27D9 A7 00		STA A	0,X	Y GUARDALO EN LA LISTA
27DB 08		INX		INCREMENTA EL APUNTAADOR
27DC B6 27 17		LDA A	DATO2	TOMA EL VALOR DEL DATO2
27DF A7 00		STA A	0,X	Y GUARDALO EN LA LISTA
27E1 08		INX		MUEVE EL APUNTAADOR
27E2 39		RTS		

NAM DESHAB

- * SUBROUTINA DE DESHABILITACION DEL SISTEMA
- * DESHABILITA TODAS LAS INTERRUPCIONES
- * Y TAMBIEN EL TEMPORIZADOR.

8003	CRB1	EQU	*8003	REG.DE CONTROL PIA MANEJA TIMER
27E3 0F	DESHAB	SEI		QUITA BANDERA DE INTERRUPCION
27E4 7F 80 03		CLR	CRB1	APAGA ULTIMA INTERRUPCION
27E7 B6 80 02		LDA A	PDRB1	
27EA B6 80		LDA A	*800	DESHABILITA
27EC B7 80 02		STA A	PDRB1	EL TIMER
27EF 39		RTS		

NAM DESP

- * SUBROUTINA DE DESPLIEGUE
- * SE TOMA EL VALOR DEL DATO CAPTURADO DE LA
- * LOCALIDAD DE ALMACENAMIENTO TEMPORAL DATO1
- * Y SE DESPLIEGA, POR EL PUERTO
- * DE SALIDA PIA2. EN EL ACCA QUEDA EL DATO COMP.

801A	PDRB2	EQU	*801A	REG. DE DAT. PIA MANEJA DESPLIEGUE.
27F0 B6 27 03	DESP	LDA A	DATO1	RECUPERA Y
27F3 43		COM A		
27F4 B7 80 1A		STA A	PDRB2	DESPLIEGA EL DATO
27F7 39		RTS		

NAM DESP1

- * SUBROUTINA DE DESPLIEGUE DE UN EVENTO RELEVANTE. E
- * ESTA SUBROUTINA LO QUE HACE ES: REALIZA EL DESPLIEGUE
- * DE LOS DATOS ALMACENADOS EN MEMORIA. LOS DATOS
- * QUE SE DESPLIEGAN SON DESDE ANTES DE QUE SE INICIE
- * EL EVENTO RELEVANTE PARA PODER OBSERVAR SU COMPORTAMIENTO
- * ANTERIOR. EL INTERVALO DE TIEMPO EN QUE LOS DATOS
- * SE VAN A DESPLEGAR ES FIJADO EN ESTA SUBROUTINA.
- * POR LO QUE SE NECESITA QUE SE EJECUTEN LAS SIGUIENTES
- * TAREAS.
- * -INICIACION DE LOS PUERTOS PARA EL DESPLIEGUE (INDESP1).
- * -SERVICIO DE INTERRUPCION (RSIR).

270D	TDESP	EQU	*270D	LOC. DEL INTERVALO DE DESPLIEGUE.
2710	DATODES	EQU	*2710	LOC. DEL DATO A DESPLEGAR.
4DEE	FINLIST	EQU	*4DEE	FIN DE LA LISTA.
4000	LISTAOR	EQU	*4000	INICIO DE LA LISTA ODENADA.

27FB BD 28 CC	IND1	JSR	INPAD	INICIA PIA DESP. Y EL TIMER
27FB CE 28 26		LDX	#RSIR	DA EL INICIO DE LA SUBROUTINA
27FE FF A0 00		STX	UIRQV	DE INTERRUPCION.
2801 CE 40 00		LDX	#LISTAOR	POSICIONA EL PRINCIPIO DE DATOS
2804 B6 01		LDA A	#*01	PREPARA BANDERA DE
2806 B7 27 02		STA A	FLAG	AVISO DE DESPLIEGUE
2809 B6 27 0D		LDA A	TDESP	DA EL TIEMPO DEL
280C B7 80 02		STA A	PDRB1	NUEVO DESPLIEGUE
280F A6 00	PERMI	LDA A	0, X	PREPARA EL
2811 B7 27 10		STA A	DATODES	DATO A DESPLEGAR
2814 0E		CLI		PERMITE INTERRUPCION
2815 7D 27 02	PREG2	TST	FLAG	LLEGO AVISO DE DESPLIEGUE
2818 26 FB		BNE	PREG2	NO, ESPERALO
281A 7C 27 02		INC	FLAG	SI, HASLO NOTAR
281D 0B		INX		INCRMENTA APUNTAOR

281E	BC	4D	EE		CPX	#FINLIBT	VE SI TERMINE EL
2821	27	02			BEG	ACABO	DESPLIEQUE DE DATOS
2823	20	EA			BRA	PERMI	SI NO TERMINE, PREPARA
2825	39			ACABO	RTG		EL SIGUIENTE.
2826	B6	80	02	RBIR	LDA A	PDRB1	CAMBIA BANDERA DE INT.
2829	7F	27	02		CLR	FLAG	AVISA QUE HAY DESPLIEQUE
282C	BD	28	34		JBR	DESP1	VE A DESPLEGAR EL DATO
282F	32				PUL A		
2830	BA	10			ORA A	**10	
2832	36				PSH A		
2833	38				RTI		
2834	B6	27	10	DESP1	LDA A	DATODES	DESPLIEGA
2837	43				COM A		
2838	B7	80	1A		STA A	PDRB2	EL DATO
283B	39				RTS		

NAM DESP2

- * SUBROUTINA DE DESPLIEQUE DE UNA SENAL , CUYOS DATOS
- * SE ENCUENTRAN EN UN ARCHIVO, Y EL TIEMPO DE DESPLIEQUE
- * ES EL MISMO QUE EL DE LA CAPTURA.

283C	B6	01		INDESP	LDA A	#*01	INICIA EL REGISTRO
283E	B7	27	02		STA A	FLAG	BANDERA
2841	CE	28	58		LDX	#RSID	DA EL VECTOR DE INTERRUPCION
2844	FF	A0	00		STX	UIRQV	DEL DESPLIEQUE
2847	39				RTS		
2848	0E			HABIDES	CLI		PERMITE INTERRUPCION
2849	7D	27	02	PDESP	TST	FLAG	LLEGO LA INTERRUP?
284C	26	FB			BNE	PDESP	NO, ESPERALA
284E	7C	27	02		INC	FLAG	SI, ATIENDELA
2851	A6	00			LDA A	0, X	DESPLEGANDO EL DATO
2853	43				COM A		
2854	B7	80	1A		STA A	PDRB2	POR EL PUERTO CORRESPONDIENTE
2857	39				RTS		
2858	B6	80	02	RSID	LDA A	PDRB1	
285B	7F	27	02		CLR	FLAG	AVISA QUE LLEGO INTERRP.
285E	32				PUL A		
285F	8A	10			ORA A	**10	
2861	36				PSH A		
2862	38				RTI		

NAM DESP2S

- * SUBROUTINA DE DESPLIEQUE DE DOS SENALES
- * PRIMERO SE DESPLIEGA UNA SENAL (LA DEL CANAL1)
- * Y DESPUES LA OTRA LA DEL CANAL 2.

28E3	CE 41 00	DESP29	LDX	#LISTA	PON EL INICIO DE LA LISTA
28E6	BD 28 3C		JBR	INDESP	INICIA EL SIST PARA EL DESP.
28E9	BD 28 48	DESPB1	JBR	HABIDES	DESPLIEGA UN DATO
28E6	08		INX		MUEVE EL APUNTADOR
28E6	08		INX		DE LA LISTA DE DATOS
28E6	8C 4D EE		CPX	#FINLISTA	TERMINE?
2871	2B F6		BMI	DESPB1	NO, SIGUE DESPLEGANDO
2873	CE 41 01		LDX	#LISTA+1	SI, AHORA DESPLIEGA BENAL 2
287E	BD 28 3C		JBR	INDESP	INICIA AL SISTEMA PARA EL DESPLIEGUE
2879	BD 28 48	DESPB2	JBR	HABIDES	DESPLIEGA UN DATO
287C	08		INX		MUEVE EL APUNTADOR
287D	08		INX		DE LA LISTA DE DATOS
287E	8C 4D EE		CPX	#FINLISTA	TERMINE?
2881	2B F6		BMI	DESPB2	NO, SIGUE DESPLEGANDO
28E3	39		RTS		SI TERMINASTE

NAM DESPRO
 * SUBROUTINA DE DESPLIEGUE DE LA
 * SENAL PROCESADA.

3200	LISPRO	EQU	#3200	INICIO LISTA DAT.PROCESADOS
3FEE	FINLPRO	EQU	#3FEE	FIN DE LISTPRO.

2884	CE 32 00	DESPRO	LDX	#LISPRO	COLOCA INICIO LISPRO
2887	BD 28 3C		JBR	INDESP	INICIA SISTEMA PARA DESPLIEGUE
288A	BD 28 48	DP	JBR	HABIDES	
288D	08		INX		
288E	08		INX		
288F	8C 3F EE		CPX	#FINLPRO	
2892	2B F6		BMI	DP	
2894	39		RTS		

NAM DESPINT
 * SUBROUTINA DE DESPLIEGUE DE LA
 * SENAL QUE FUE INTEGRADA.

2895	CE 32 00	DESPINT	LDX	#LISPRO	COLOCA INICIO LISPRO
2898	BD 28 3C		JBR	INDESP	INICIA EL SISTEMA PARA EL DESPLIEGUE
289B	BD 28 48	DPI	JBR	HABIDES	DESPLIEGA UN DATO
289E	08		INX		POR EL PUERTO CORRESPONDIENTE
289F	08		INX		MUEVE EL APUNTADOR
28A0	08		INX		
28A1	08		INX		
28A2	8C 3F EE		CPX	#FINLPRO	TERMINE?
28A5	2B F4		BMI	DPI	NO SIGUE DESPLEGANDO
28A7	39		RTS		YA TERMINASTE

NAM GRAFICA2

- * ESTE PROGRAMA SIGUE LA SECUENCIA DE CAPTURA,
- * ALMACENAMIENTO Y DESPLIEGUE DE UN NUMERO DETERMINADO
- * DE DATOS. SI EL PROGRAMA SE VA AL MONITOR (S)
- * INDICA QUE NO ESTA TRABAJANDO EN TIEMPO REAL.

4100	LISTA	EQU	*4100	LOC. DE INICIO DE LA LISTA
28A8 BD 27 20	GRAF2	JSR	ADQ	TOMA UN DATO
28AB CE 41 00		LDX	#LISTA	POSICINA EL INICIO DE LISTA
28AE BD 27 CF	ET7	JSR	ALM	GUARDA EL DATO EN LA LISTA
28B1 BD 27 F0		JSR	DESP	Y DESPLIEGALO
28B4 8C 4D EE		CPX	#FINLISTA	VERIFICA SI TERMINE
28B7 2E 03		BNE	ET10	NO TERMINASTE, REPITE EL PROCESO
28B9 7E 27 E3		JMP	DESHABI	SI TERMINASTE, DESHABILITA EL BIST.
28BC BD 29 8B	ET10	JSR	PERDI	
28BF 20 ED		BRA	ET7	

NAM INBIST

- * SUBROUTINA DE INICIACION DEL SISTEMA
- * EN ESTA SUBROUTINA SE REALIZAN LAS SIGUIENTES TAREAS
- * -INSIST INICIACION DEL STACK Y REGISTROS INTERNOS
- * -INPAD INICIACION DE PUERTOS DE E/S
- * -INCK INICIACION DEL TEMPORIZADOR
- * SE INICIA EL VECTOR DE INTERRUPCION(UIRQV).
- * LA PARTE A DE LA PIA MANEJA LAS APROXIMACIONES SU-
- * CESIVAS Y LA PARTE B MANEJA EL MULTIPLEXOR. EN EL CRA
- * SE UTILIZA CA2 COMO SALIDA PARA HABILITAR EL MUX.
- * EL TEMPORIZADOR SE USA PARA GENERAR LAS INTERRUPCIONES
- * Y REALIZAR LA ADQUISICION DE LOS DATOS. ESTE ES MANEJADO
- * POR LA PIA1. LA PARTE B SON TODAS SALIDAS Y LA A TODAS
- * ENTRADAS. CB1 SE HABILITARA CON TRANSICION NEGATIVA PARA
- * PERMITIR LA INTERRUPCION Y EL TEMPORIZADOR TENDRA QUE
- * QUEDAR EN MASTER RESET.

8009	CRA	EQU	*8009	REG. DE CONT. PIA MANEJA APROX. SUCESIVAS
800B	CRB	EQU	*800B	REG. DE CONT. PIA MANEJA MULTIPLEXOR
801B	CRB2	EQU	*801B	REG. DE CONT. PIA MANEJA DESPLIEGUE
A000	UIRQV	EQU	*A000	

28C1	CE 27 30	INSIST	LDX	#RBI	PON LA DIRECCION DE INICIO
28C4	FF 00 00		STX	UIRQV	DE LA RBI
28C7	86 01		LDA A	##01	
28C9	B7 27 02		STA A	FLAG	
28CC	7F 80 09	INPAD	CLR	CRA	HABILITA PDDRA
28CF	86 FF		LDA A	##FF	HAZ TODAS SALIDAS
28D1	B7 80 08		STA A	PDRA	EN PDRA
28D4	86 34		LDA A	##34	PON CA2 COMO SALIDA
28DE	B7 80 09		STA A	CRA	Y HABILITA EL PDR
28D9	7F 80 0B		CLR	CRB	HABILITA PDDRB
28DC	86 47		LDA A	##47	P0, P1, P2, P6 SALIDAS
28DE	B7 80 0A		STA A	PDRB	Y LAS DEMAS ENTRADAS
28E1	86 04		LDA A	##04	HABILITA PDR
28E3	B7 80 0B		STA A	CRB	
28E6	86 FF		LDA A	##FF	
28E8	B7 80 1B		STA A	CRB2	HABILITA PDDR2
28EB	86 00		LDA A	##00	HAZ TODAS SALIDAS
28ED	B7 80 1A		STA A	PDRB2	EN PDRA2
28F0	86 FB		LDA A	##FB	HABILITA
28F2	B7 80 1B		STA A	CRB2	
28F5	0F	INCK	SEI		
28F6	7F 80 03		CLR	CRB1	DA ACCESO A PDDRB
28F9	86 FF		LDA A	##FF	HAZ SALIDAS EN PDR
28FB	B7 80 02		STA A	PDRB1	
28FE	86 05		LDA A	##05	QUE CB1 SE HABILITE
2900	B7 80 03		STA A	CRB1	CON TRANSICION NEG.
2903	86 80		LDA A	##80	DA EL MASTER RESET
2905	B7 80 02		STA A	PDRB1	AL TIMER
2908	39		RTS		

NAM MYM

- * ESTA SECUENCIA DETERMINA EL MAXIMO Y EL MINIMO
- * DEL EVENTO RELEVANTE, DICHS VALORES LOS DESPLIEGA
- * EN LA PANTALLA, UNA VEZ HECHO ESTO SE VA A LA
- * SECUENCIA DE ORDENAMIENTO DE DATOS.

270B	MAXIMO	EQU	\$270B	LOC. PARA EL MAXIMO DEL EVENTO REL.	
270C	MINIMO	EQU	\$270C	LOC. PARA EL MINIMO DEL EVENTO REL.	
E0CA	OUT2HS	EQU	#E0CA	INICIO DE SUBR. DE DESPLIEGUE EN PANT.	
2909	CE 41 00	MYM	LDX	#LISTA	POSICIONA APUNTADOR
290C	B6 27 09		LDA A	LIMSUP	DA UNA REFERENCIA
290F	B7 27 0B		STA A	MAXIMO	PARA DETERMINAR EL MAX.
2912	A6 00	SIGUE	LDA A	0, X	COMPARA EL DATO
2914	B1 27 0B		CMP A	MAXIMO	CON EL DE LA LISTA
2917	23 03		BLS	NO	ES MAYOR

2919	B7 27 0B		STA A	MAXIMO	SI ES MAYOR GUARDALO
291C	0B	NO	INX		DA EL SIGUIENTE
291D	BC 4D EE		CPX	#FINLIST	TERMINE?
2920	26 F0		BNE	SIGUE	NO, CONTINUA
2922	CE 41 00	MIN	LDX	#LISTA	POSICIONA EL APUNTADOR
2925	B6 27 0B		LDA A	MAXIMO	DA UNA REFERENCIA
292B	B7 27 0C		STA A	MINIMO	PARA COMPARAR
292B	A6 00	MAS	LDA A	0, X	COMPARALO CON
292D	B1 27 0C		CMP A	MINIMO	EL DATO DE LA LISTA
2930	23 02		BLS	SI	SI ES MENOR, GUARDALO
2932	20 03		BRA	SIGUE1	NO, DA EL SIGUIENTE
2934	B7 27 0C	SI	STA A	MINIMO	GUARDA EL DATO
2937	0B	SIGUE1	INX		DA EL SIGUIENTE
2938	BC 4D EE		CPX	#FINLIST	TERMINE?
293B	26 EF		BNE	MAS	NO, CONTINUA
293D	39		RTS		

NAM PRODESE

* ESTA SECUENCIA ES PARTE DEL PROGRAMA DE
 * PROCESAMIENTO DE SEÑALES DE ENTRADA.

293E	BD 27 6E	PRODESA	JSR	ADQ25	VE A CAPTURAR LOS DATOS
2941	CE 41 00		LDX	#LISTA	POSICIONATE EN LA LISTA
2944	BD 27 DE	CONTIN	JSR	ALM25	ALMACENALOS
2947	BC 4D EE		CPX	#FINLIS	TERMINE?
294A	2B 04		BMI	CAPTURA	NO, SIGUE CAPTURANDO
294C	BD 2B 63		JSR	DESP25	SI, VE A DESPLEGARLAS 2 SEÑALES
294F	39		RTS		
2950	BD 27 7A	CAPTURA	JSR	HABI25	SIGUE CAPTURANDO
2953	20 EF		BRA	CONTIN	

NAM RELSUP

* ESTA SECUENCIA NOS PERMITE HACER LA DETECCION DEL EVENTO Y
 * SABER SI EL DATO ES RELEVANTE
 * SUPERIOR O NO.

2709		LIMSUP	EQU	\$2709	
2955	BD 27 20	EVENSUP	JSR	ADD	REALIZA ADQUISICION
2958	B6 27 03	RELSUP	LDA A	DAT01	TOMA EL DATO
295B	B1 27 09		CMP A	LIMSUP	COMPARA EL DATO
295E	2B 02		BMI	ET3	NO ES RELEVANTE
2960	20 05		BRA	ET4	SI ES RELEVANTE
2962	BD 27 26	ET3	JSR	HABI	TOMA OTRO DATO
2965	20 F1		BRA	RELSUP	Y PREG. SI ES RELEVANTE

2962	BD	27	26	ET3	JSR	HABI	TOMA OTRO DATO
2965	20	F1			BRA	RELSUP	Y PREG. SI ES RELEVANTE
2967	CE	41	00	ET4	LDX	MLIBTA	EN CABOO QUE LO BEA
296A	BD	27	CF	ET1	JSR	ALM	GUARDALO Y
296D	BD	27	F0		JBR	DESP	DESPLIEGALO
2970	8C	4D	FF		CPX	##4DFF	TERMINE?
2973	27	05			BEQ	E1	SI
2975	BD	27	2E		JSR	HABI	NO, TOMA UN DATO MAS
2978	20	F0			BRA	ET1	Y REPITE EL PROCESO
297A	39			E1	RTS		

NAM RELINF

* ESTA SECUENCIA NOS PERMITE HACER LA DETECCION DEL EVENTO
* SABER SI EL DATO ES RELEVANTE
* INFERIOR O NO.

270A				LIMINF	EQU	\$270A	
297B	BD	27	20	EVENINF	JSR	ADQ	HAZ LA ADQUISICION DE UN DATO
297E	B6	27	03	RELINF	LDA	A DATO1	TOMA EL DATO
2981	B1	27	0A		CMP	A LIMINF	COMPARALO
2984	23	E1			BLS	ET4	ES RELEVANTE
298E	BD	27	2E		JSR	HABI	NO ES RELEVANTE
2989	20	F3			BRA	RELINF	

NAM TIEMPOR

* SUBROUTINA DE VERIFICACION DE TRABAJO
* EN TIEMPO REAL.
* ESTA SUBROUTINA DEBE PREGUNTAR SI NO HUBO
* SOLICITUD DE INTERRUPCION MIENTRAS EL SISTEMA
* ESTABA OCUPADO REALIZANDO ALGUN PROCESO. SI
* PERDIO ALGUN DATO SE IRA AL MONITOR. SI NO
* PERDIO NINGUN DATO SEGUIRA EL PROCESO DE
* CAPTURA DE DATOS.

E0E3				CONTROL	EQU	\$E0E3	LOC. DE REGRESO AL MONITOR
298B	B6	80	03	PERDI	LDA	A CRB1	PERDI ALGUN DATO?
298E	2A	03			BPL	ET2	NO, HABILITA INT.
2990	7E	E0	E3	AVISO	JMP	CONTROL	SI, VE AL MONITOR
2993	7E	27	2E	ET2	JMP	HABI	
				END			

```
0010 PRINT "GRAFICA 2"
0020 PRINT "ESTE PROGRAMA EJECUTA:"
0030 PRINT "LA ADQUISICION,ALMACENAMIENTO Y DEBPLIEQUE"
0040 PRINT "EN TIEMPO REAL,(DE APROXIMADAMENTE 3500 DATOS)"
0050 PRINT "EL ARCHIVO DE DATOS PRINCIPIA EN LA LOC.#4100"
0060 PRINT "INICIACION DEL SISTEMA"
0070 POKE(103,40):POKE(104,193)
0080 LET A=USER(01)
0090 PRINT "INFORMACION AL SISTEMA"
0100 PRINT "DA EL INTERVALO DE CAPTURA T"
0110 PRINT ".001,.01,.1,1,10,60 SEG"
0120 INPUT T
0130 DATA .001,03,.01,04,.1,05,1,06,10,07,60,09
0140 FOR I=1 TO 6
0150 READ Z,M
0160 IF Z=T THEN POKE(9990,M):GOTO 190
0170 NEXT I
0180 IF Z()T THEN RESTORE:PRINT"INTERVALO DE CAPTURA INVALIDO":GOTO100
0190 POKE(9989,00)
0200 PRINT "REALIZA LA ADQUISICION DE DATOS"
0210 PRINT "SI EL PROGRAMA SE DETIENE Y SE VA AL MONITOR"
0220 PRINT "ES QUE SE PERDIO ALMENOS UN DATO"
0230 POKE(103,40):POKE(104,168)
0240 LET C=USER(02)
0250 END
```

```
0010 PRINT "EVENTO RELEVANTE"
0020 PRINT "ESTE PROGRAMA EJECUTA : "
0030 PRINT "LA DETECCION DE UN EVENTO RELEVANTE"
0040 PRINT "AQUI SE DETERMINAN SUS CARACTERISTICAS"
0050 PRINT "DEL EVENTO QUE SE DESEA OBSERVAR"
0060 PRINT "TAMBIEN SE DETERMINA SU MAXIMO Y MINIMO"
0070 PRINT "INICIA EL SISTEMA":
0080 POKE( 103,40):POKE(104,193)
0090 LET A=USER(01)
0100 PRINT "INFORMACION AL SISTEMA"
0120 PRINT "DA EL INTERVALO DE CAPTURA T"
0130 PRINT ".001,.01,.1,1,10,60 SEG."
0140 INPUT T
0150 DATA .001,03,.01,04,.1,05,1,06,10,07,60,09
0160 FOR I=1 TO 6
0170 READ Z,M
0180 IF Z=T THEN POKE(9990,M):GOTO 210
0190 NEXT I
0200 IF Z(>)T THEN RESTORE:PRINT"INTERVALO DE CAPTURA INVVALIDO":GOTO120
0210 POKE( 9989,00)
0220 PRINT "SI EL EVENTO ES RELEVANTE SUPERIOR"
0230 PRINT "HAZ R=1,SI ES RELEVANTE INFERIOR R=0"
0240 INPUT R
0245 DATA 0,1
0246 FOR I=1 TO 2
0247 READ S
0250 IF R=1 THEN GOTO 300
0260 IF R=0 THEN PRINT"DA EL VALOR DEL LIMITEINFERIOR":GOTO 280
0265 NEXT I
0270 IF S(>)R THEN RESTORE:PRINT"DETERMINA QUE TIPO DE EVENTO ES":GOTO220
0280 INPUT L
0290 POKE( 9994,L)
0292 PRINT " HAZ LA CAPTURA DEL EVENTO RELEVANTE INFERIOR"
0294 POKE( 103,41):POKE(104,123)
0296 LET G=USER(07)
0298 GOTO 400
0300 PRINT "DA EL VALOR DEL LIMITE SUPERIOR"
0310 INPUT S
0320 POKE( 9993,S)
0330 PRINT "HAS LA CAPTURA DEL EVENTO RELEVANTE SUPERIOR"
0340 POKE( 103,41):POKE(104,85)
0350 LET B=USER(02)
0360 GOTO 400
0400 PRINT "REALIZO YA LA DETECCION DEL EVENTTO RELEVANTE"
0410 PRINT "DETERMINA AHORA EL MAXIMO Y EL MINIMO"
0420 POKE( 103,41):POKE(104,09)
0430 LET D=USER(04)
0440 PRINT "DA EL VALDR DEL MAXIMO":LET M=PEEK(9995):PRINT M
```

```
0450 PRINT "DA EL VALOR DEL MINIMO":LET M=PEEK(9996):PRINT M
0500 PRINT "NUEVO DESPLIEGUE"
0510 PRINT "DA EL TIEMPO DEL NUEVO DESPLIEGUE"
0520 PRINT ".001,.01,.1,1,10,60 SEG."
0530 INPUT T
0540 DATA .001,03,.01,04,.1,05,1,06,10,07,60,09
0550 FOR Y=1 TO 6
0560 READ W,N
0570 IF W=T THEN POKE(9997,N):GOTO 600
0580 NEXT Y
0590 IF W()T THEN RESTORE:PRINT"INTERVALO DE DESPLIEGUE INVALIDO":GOTO510
0600 PRINT "REALIZA EL NUEVO DESPLIEGUE"
0610 POKE(103,39):POKE(104,248)
0620 LET F=USER(06)
0630 PRINT "DESEA UN NUEVO DESPLIEGUE,HAZ P=0"
0640 INPUT P
0650 IF P=0 THEN GOTO 500
0660 PRINT "YA SE EJECUTARON TODAS LAS TAREAS DEBEADAS"
0670 END
```

```
0010 PRINT "DETERMINA LA POSICION DE UN OBJETO"
0020 PRINT "ESTE PROGRAMA EJECUTA LAS SIGUIENTES LABORES:"
0030 PRINT "HACE LA CAPTURA DE UN DATO QUE TIENE LA "
0040 PRINT "INFORMACION DE LA POSICION DE UN OBJETO"
0050 PRINT "CON RESPECTO A UN PUNTO FIJO."
0060 PRINT "INFORMACION AL SISTEMA"
0070 POKE(103,40):POKE(104,193)
0080 LET A=USER(01)
0090 PRINT "INFORMACION AL SISTEMA"
0100 PRINT "DA EL INTERVALO DE CAPTURA T"
0110 PRINT ".001,.01,.1,1,10,60 SEG."
0120 INPUT T
0130 DATA .001,03,.01,04,.1,05,1,06,10,07,60,09
0140 FOR I=1 TO 6
0150 READ Z,M
0160 IF Z=T THEN POKE(9990,M):GOTO 190
0170 NEXT I
0180 IF Z<T THEN RESTORE:PRINT"INTERVALO DE CAPTURA INVALIDO":GOTO100
0190 POKE(9989,00)
0200 PRINT "HAZ LA CAPTURA DEL DATO"
0210 POKE(103,39):POKE(104,32)
0220 LET B=USER(02)
0230 LET U=PEEK(9987)
0240 LET P=(2.01*U)-360
0245 PRINT "DA LA POSICION EN GRADOS"
0250 PRINT P
0260 PRINT "SI DESEAS TOMAR OTRO DATO HAZ L=1"
0270 INPUT L
0280 IF L=1 THEN GOTO 200
0290 PRINT "SE TERMINO LA EJECUCION DEL PROGRAMA"
0300 PRINT " DESHABILITA AL SISTEMA"
0310 POKE(103,39):POKE(104,227)
0320 LET C=USER(03)
0330 END
```

```
0010 PRINT "PROCESO DE DOS SENALES"  
0020 PRINT "ESTE PROGRAMA EJECUTA:"  
0030 PRINT "LA CAPTURA DE DOS SENALES Y"  
0040 PRINT "EJECUTA LOS PROCESOS DE SUMA, RESTA, INTEGRACION"  
0050 PRINT "O MULTIPLICACION DE LAS SENALES"  
0060 PRINT " INICIACION DEL SISTEMA"  
0070 POKE( 103,40):POKE(104,193)  
0080 LET A=USER(01)  
0090 PRINT "INFORMACION AL SISTEMA"  
0100 PRINT "DA EL INTERVALO DE CAPTURA T"  
0110 PRINT ".001,.01,.1,1,10,60 SEG."  
0120 INPUT T  
0130 DATA .001,03,.01,04,.1,05,1,06,10,07,60,09  
0140 FOR I=1 TO 6  
0150 READ Z,M  
0160 IF Z=T THEN POKE(9990,M):GOTO 190  
0170 NEXT I  
0180 IF Z(>)T THEN RESTORE:PRINT"INTERVALO DE CAPTURA INVALIDO":GOTO100  
0190 PRINT "HAZ LA CAPTURA DE LAS DOS SENALES Y ALMACENA LOS DATOS"  
0200 PRINT "Y DESPLIEGA PRIMERO UNA SENAL Y DESPUES LA OTRA"  
0210 POKE( 103,41):POKE(104,62)  
0220 LET B=USER(02)  
0230 PRINT "QUE PROCESO QUIERES QUE SE REALICE"  
0240 PRINT "1=SUMA,2=RESTA,3=INTEGRACION,4=PRODUCTO"  
0250 PRINT "ASIGNA EL VALOR SEGUN EL PROCESO QUE DESEAS"  
0260 INPUT P  
0270 DATA 1,2,3,4  
0280 FOR I=1 TO 4  
0290 READ S  
0300 IF P=1 THEN GOTO 400  
0310 IF P=2 THEN GOTO 500  
0320 IF P=3 THEN GOTO 600  
0330 IF P=4 THEN GOTO 700  
0340 NEXT I  
0350 IF S(<)P THEN RESTORE:PRINT"QUE PROCESO DESEAS":GOTO 240  
0400 PRINT "EJECUTA EL PROCESO DE SUMA DE LAS DOS SENALES"  
0410 FOR I=0 TO 1655 STEP 2  
0420 LET R=PEEK(16640+I):LET S=PEEK(16641+I)  
0430 LET U=R+S  
0440 IF U>255 THEN LET U=255  
0450 POKE( 12800+I,U)  
0460 NEXT I  
0470 PRINT "SE TERMINO EL PROCESO DE SUMA":GOTO 800  
0500 PRINT "EJECUTA EL PROCESO DE RESTA"  
0510 FOR I=0 TO 1655 STEP 2  
0520 LET R=PEEK(16640+I):LET S=PEEK(16641+I)  
0530 LET U=R-S  
0540 IF U<0 THEN LET U=0
```

```
0550 POKE( 12800+I,U)
0560 NEXT I
0570 PRINT "SE TERMINO EL PROCESO DE RESTA DE DOS SENALES":GOTO 800
0600 PRINT "PROCESO DE INTEGRACION DE LA SENAL 1"
0610 LET Y0=PEEK(16640):LET Y1=PEEK(16642)
0620 LET U=T/2*(Y0+2*Y1)
0625 IF U>255 THEN LET U=255
0630 POKE( 12800,U)
0640 FOR I=4 TO 1631 STEP 4
0650 LET Y2=PEEK(16640+I):LET Y3=PEEK(16642+I)
0660 LET U=Y2+T*Y3
0665 IF U>255 THEN LET U=255
0670 POKE( 12800+I,U)
0680 NEXT I
0690 PRINT "SE TERMINO EL PROCESO DE INTEGRACION DE LA SENAL 1"
0692 PRINT "REALIZA EL DESPLIEGUE DE LA SENAL YA INTEGRADA"
0694 POKE( 103,40):POKE(104,149)
0696 LET D=USER(04)
0698 GOTO 840
0700 PRINT "EJECUTA EL PROCESO DE MULTIPLICACION DE LAS SENALES"
0710 FOR I=0 TO 1655 STEP 2
0720 LET R=PEEK(16640+I):LET S=PEEK(16641+I)
0730 LET U=R*S
0740 IF U>255 THEN LET U=255
0750 POKE( 12800+I,U)
0760 NEXT I
0770 PRINT "SE TERMINO PROCESO DE MULTIPLICACION":GOTO 800
0800 PRINT "REALIZA DESPLIEGUE DE LA SENAL PROCESADA"
0810 POKE( 103,40):POKE(104,132)
0820 LET C=USER(03)
0840 PRINT "DESEAS UN NUEVO PROCESO"
0850 PRINT "ENTONCES HAZ L=1"
0860 INPUT L
0870 IF L=1 THEN GOTO 230
0880 IF L<>1 THEN PRINT"YA SE TERMINO EL PROCESO"
0890 END
```

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Manuales de usuario de la microcomputadora SWTPC.
- 2.- Manuales de operación de la microcomputadora SWTPC.

APENDICE A

DEFINICIONES DE ALGUNAS CARACTERISTICAS QUE DAN LOS FABRICANTES DE CDA Y CAD

ABSOLUTE ACCURACY (Precisión absoluta o exactitud)

El error en la precisión absoluta de un convertidor DA es la diferencia entre la salida analógica que se espera cuando un código digital dado es aplicado y la salida que es realmente medida con ese código aplicado al convertidor.

El error en la precisión absoluta de un convertidor AD es la diferencia entre la entrada analógica teórica requerida para producir un código digital de salida dado y la entrada realmente requerida para producir el mismo código. Puesto que una banda de valores analógicos puede producir el mismo código, la entrada requerida para producir un código digital de salida se define como el punto medio de la banda medida o de la banda teórica.

El error en la precisión absoluta puede ser causado por error de ganancia, error del cero, error de linealidad o cualquier combinación de los tres. Las mediciones de precisión absoluta deben hacerse bajo un conjunto de condiciones standard con fuentes y medidores asociados a un standard internacionalmente aceptado.

ACQUISITION TIME (Tiempo de adquisición)

El tiempo de adquisición de un circuito SAMPLE AND HOLD es el tiempo que toma adquirir la señal de entrada a la precisión dada. Las especificaciones de tiempo de adquisición dadas en las hojas de datos de dispositivos analógicos incluyen el tiempo de asentamiento del amplificador de salida.

CONVERSION TIME (Tiempo de conversión)

El tiempo requerido para efectuar una conversión completa por un convertidor AD es llamado tiempo de conversión. En convertidores de aproximaciones sucesivas, se tienen tiempos de conversión entre $10\mu\text{s}$ y $400\mu\text{s}$ típicamente. Los convertidores AD de uso general más populares, tienen tiempos de conversión de unos $25\mu\text{s}$.

DEGLITCHER

Cuando un DA aumenta o disminuye el código de entrada por cambios pequeños, pasa por lo que se conoce como transiciones mayores y menores. La transición mayor es a media escala cuando el DA cambia el BIT más simplificador y todos los SWITCHES, i.e., 01111111 a 10000000. Si los SWITCHES son más rápidos para apagarse que para encenderse significa que, por un corto lapso, el DA dará una salida cero. Este transi-

torio es comúnmente conocido como GLITCH, y, por lo tanto, un DEGLITCHER es un dispositivo que remueve estos GLITCHES. Normalmente consiste de un circuito SAMPLE AND HOLD que mantiene la salida constante hasta que los SWITCHES alcanzan el equilibrio (ver figura A.1).

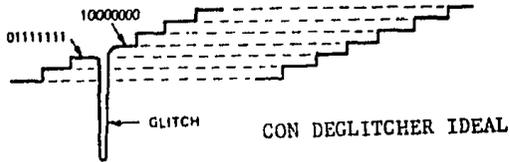


Figura A.1. Operación de un deglitcher.

DIFFERENTIAL LINEARITY (Linealidad diferencial)

Dos códigos digitales adyacentes cualesquiera deben corresponder a los valores analógicos que están separados exactamente a lo más por el valor del BIT menos significativo. Cualquier desviación del escalafón medido de la diferencia ideal es llamado alinealidad diferencial. Esta es una especificación importante porque un error de alinealidad diferencial mayor que el valor del BIT menos significativo puede llevar a un comportamiento no monótono de un convertidor DA y a códigos perdidos en un convertidor AD. Los valores analógicos para un convertidor DA son las salidas realmente medidas; para un convertidor AD son los puntos medios de la banda de cuantización en cada uno de los códigos adyacentes (si es que exis-

ten).

LEAST SIGNIFICANT BIT (LSB) (BIT menos significativo)

En un sistema en el cual una magnitud numérica es representada por una serie de dígitos binarios, el BIT menos significativo es el dígito (o BIT) que lleva el valor o peso más pequeño.

LINEARITY (Linealidad)

Error de linealidad de un convertidor es la desviación de una línea recta de los valores analógicos en una gráfica de relación de conversión medida. La línea recta puede ser la mejor recta determinada empíricamente por manipulación de la ganancia y/o compensación para igualar máximas desviaciones positivas o negativas de la transferencia característica real de esta línea recta, o puede ser una línea recta que pasa a través de los puntos finales de la transferencia característica después que han sido calibradas. A veces llamada alinealidad de punto final, la última es la definición usada por dispositivos analógicos tanto porque es una medida más conservadora y porque es más fácil de verificar en la práctica. La alinealidad de punto final es similar al error de precisión relativa.

MONOTONIC (Monótono)

Un convertidor DA o AD monótono nunca disminuye su salida como respuesta a un estímulo creciente de entrada (o viceversa). En convertidores de alta velocidad no es difícil producir un diseño monótono sobre intervalos de temperaturas grandes, los errores de los convertidores DA son debidos a los errores de los SWITCHES y de las mallas resistivas que deben cambiar en la misma forma con la temperatura. En los convertidores AD, la contrapartida de comportamiento monótono es un código perdido, el cual se produce cuando una transición de un cuanto de un intervalo analógico al siguiente no aparece en el código digital correspondiente sino en uno desplazado por más cuantos. Un comportamiento monótono en conversión de alta resolución sobre intervalos amplios de temperaturas no es fácil de lograr.

MOST SIGNIFICANT BIT (MSB) (BIT más significativo)

En un sistema en el cual una magnitud numérica es representada por una serie de dígitos binarios, el BIT más significativo es el dígito (o BIT) que lleva el valor o peso mayor.

MULTIPLYING DAC (Convertidor DA multiplicador)

Un convertidor DA multiplicador difiere de un convertidor DA convencional de referencia fija en que es diseñado para operar con señales de referencia variable (o AC). La señal de salida de tal convertidor es proporcional al producto del voltaje de referencia y la fracción equivalente del número digital de entrada.

NOISE PEAK (Ruido pico)

El ruido pico de salida de un convertidor DA puede ser una consideración importante, por ser una señal analógica, especialmente en convertidores DA de alta resolución. La resolución no es confiable cuando el ruido pico excede el valor del LSB para un ancho de banda razonable. Para un convertidor AD, el ruido de entrada al circuito puede dar propiedades estadísticas a los números de entrada y requerir procesamiento adicional para una interpretación exitosa.

NOISE RMS (Ruido RMS)

Para ruido gaussiano, el ruido RMS debe ser un séptimo del ruido pico, a pico especificado con probabilidad menor de 0.1% de encontrar ruidos pico mayores. Cuando existen SPIKES a la salida contribuirán muy poco a sacar el ruido RMS

fuera de las especificaciones, pero podrían no obstante ser de amplitud considerable. Si el convertidor DA es usado en un sistema de despliegue, el ruido causará distorsión del patrón y por lo tanto pérdida de resolución.

OFFSET

Para casi todos los convertidores bipolares se tienen que en lugar de generar corrientes negativas que correspondan a número negativos, se usa un convertidor DA unipolar y la salida se compensa por media escala completa (1 MSB). Para mejores resultados este voltaje o corriente de compensación es obtenida de la misma fuente de referencia que determina la ganancia del convertidor.

Esto hace que el punto cero del convertidor sea independiente de las desviaciones térmicas de la referencia. Esto es porque la compensación a media escala cancela completamente el peso del MSB en cero, independiente de la amplitud de ambos.

POWER SUPPLY SENSITIVITY (Sensitividad a la fuente de poder)

La sensitividad de un convertidor a los cambios en las fuentes de poder se expresa normalmente en términos de cambios porcentuales en los valores analógicos (salida del DA, entrada del AD). Para todos los buenos convertidores el

cambio fraccional en la lectura no debe ser más del porcentaje equivalente de $\pm 1/2$ LSB a escala completa para un cambio de 3% en la fuente de poder.

QUANTIZING UNCERTAINTY (OR ERROR) (Incertidumbre cuantizada)

El continuo analógico es dividido en 2^n intervalos discretos para conversión de n BITS. Todos los valores analógicos dentro de un intervalo dado son representados por el mismo código digital, usualmente asignado al valor nominal de banda media. Existe, sin embargo, una incertidumbre de cuantización inherente de $\pm 1/2$ LSB, además en los errores de la conversión

SETTLING TIME (Tiempo de asentamiento)

Es el tiempo que tarda un convertidor DA en asentarse de un cambio de escala completa, usualmente dentro de $\pm 1/2$ LSB. Otro tiempo de asentamiento característico muy importante es el tiempo de asentamiento de el cambio en un LSB.

STABILITY (Estabilidad)

La estabilidad de un convertidor usualmente se aplica a la insensibilidad de sus características como el tiempo, temperatura, etc. Todas las mediciones de estabilidad son di

fciles y tardadas, pero la de estabilidad vs. temperatura es suficientemente crítica en la mayoría de las aplicaciones, lo que garantiza casi generalmente su especificación en lata bla del fabricante (ver coeficiente de temperatura).

SUCCESSIONE APROXIMATIONS (Aproximaciones sucesivas)

Aproximaciones sucesivas en un método de alta velocidad para comparar un grupo de referencias pesadas contra una desconocida. La operación de un convertidor de aproximaciones sucesivas es generalmente similar al pesado ordenado de una cantidad desconocida en una balanza química de precisión, usando un conjunto de pesas tales como: 1gr., 1/2gr., 1/4gr., 1/8gr., etc.

SWITCHING TIME (Tiempo de switcheo)

En un convertidor DA el tiempo de switcheo es el tiempo que toma para que el interruptor cambie de un estado a otro.

TEMPERATURE COEFFICIENT (Coeficiente de temperatura)

La ganancia de todos los convertidores cambiará con la temperatura debido a dos causas principales.

- a) El zener de referencia tendrá un coeficiente térmico. Un buen zener tendrá un CT de menos 5ppm/°C.

- b) La circuitería de referencia y los interruptores agregarán otras $3\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$ máximo en muy buenos convertidores. El cambio total de ganancia con la temperatura será entonces especificado como cambio de x partes por millón (ppm) por $^{\circ}\text{C}$.

La estabilidad térmica de un convertidor analógico digital unipolar es debida casi enteramente a la estabilidad del cero de voltaje del amplificador de salida. Como los amplificadores de salida son normalmente convertidores de corriente a voltaje, siempre funcionan con una ganancia de voltaje no diferente de la unidad; por lo tanto, el CT de un DA unipolar puede expresarse en $\text{V}/^{\circ}\text{C}$ y será independiente de la ganancia fijada, i.e., 0-5V ó 0-10V.

Para un convertidor AD se aplican argumentos similares y su CT depende sólo de la estabilidad del cero de voltaje del BUFFER de entrada y del comparador y, de nuevo, usualmente se expresa en $\text{V}/^{\circ}\text{C}$ (de entrada).

APENDICE B

MICROPROCESADOR MC6800

El diagrama de bloques del microprocesador MC6800 es el que se muestra en la figura B.1

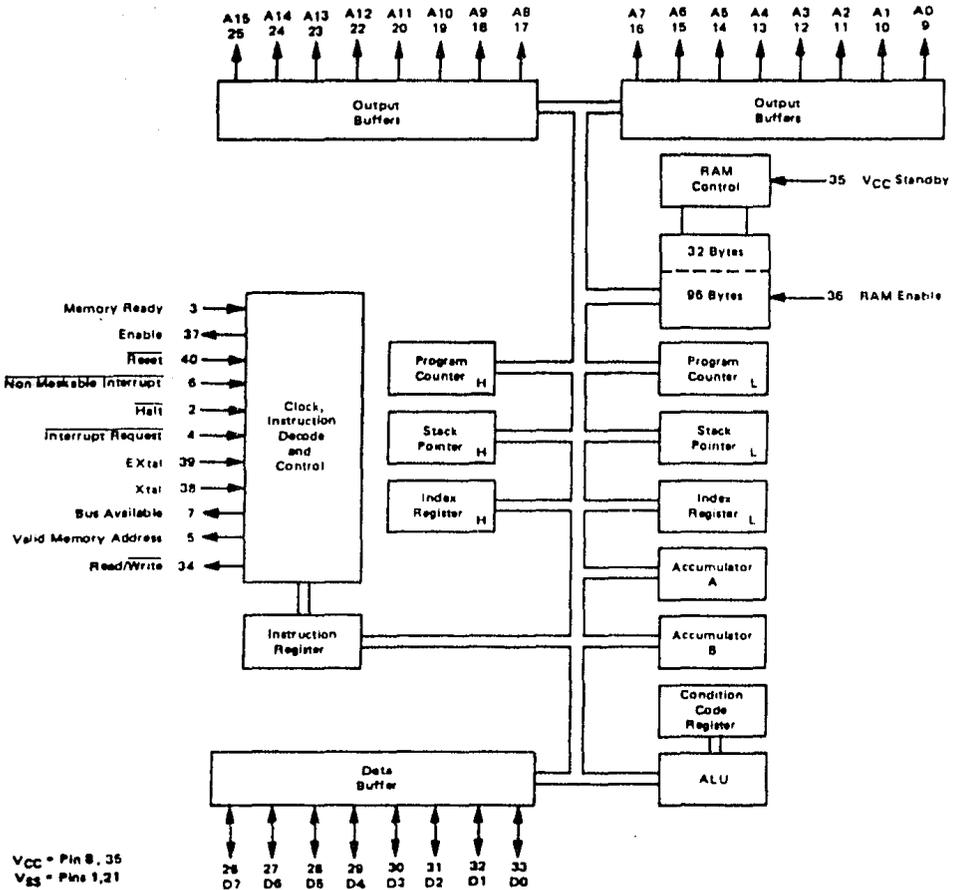


Figura B.1. Diagrama de bloques del MC6800.

Algunas de las características del sistema son:

- CANAL de datos bidireccional (ocho líneas).
- CANAL de direcciones (16 líneas) que permiten acceder 64 KBYTES de memoria.
- 72 instrucciones de longitud variable.
- Siete modos de direccionamiento: directo, relativo, inmediato, inherente, indexado, extendido, y acumulador.
- Vectores de interrupción.
- Dos acumuladores de ocho BITS.
- Registro índice.
- Contador de programa.
- Apuntador de STACK y longitud variable de STACK.
- Registro de código de condición.
- Interrupción enmascarada y no enmascarada.
- Acceso directo a memoria (DMA) y capacidad de mil tiproceso.
- La razón de operación del reloj es arriba de un MHZ.
- Facilidad de interface con TTL.
- Soporte accesible de SOFTWARE.

La mayor parte de las características fueron tratadas en el capítulo II por lo que aquí se hará mención solamente de aquellas que no se trataron o en las que existe alguna diferencia.

Registro de códigos de condición.- Tiene la configuración siguiente

7	6	5	4	3	2	1	0
1	1	H	I	N	Z	V	C

El BIT C es uno si después de la ejecución de una instrucción hay un CARRY o un BORROW como resultado de la operación efectuada en el BIT más significativo.

El BIT V es uno cuando en el resultado de una operación aritmética en complemento a dos existe un OVERFLOW y es cero cuando el OVERFLOW del complemento a dos no ocurre.

El BIT Z es uno si el resultado de una operación aritmética es cero; de otra forma es cero.

El BIT N es uno si el BIT 7 de la operación aritmética efectuada es uno. Si el BIT 7 es cero en el resultado de la operación efectuada entonces el BIT N será también cero.

El BIT I es afectado por la ejecución de algunas instrucciones SWI y RTI, y por el servicio de una solicitud de interrupción de algunos dispositivos periféricos. El estado del BIT I también puede ser alterado por el uso de las siguientes instrucciones: CLI, SEI, TAP. Cuando I es igual a uno el MPU no responde a la interrupción y cuando es cero la interrupción es atendida

El BIT H es uno si existe un CARRY del BIT 3 al

BIT 4 en una operación efectuada.

Interrupciones.- Se puede tener el servicio de interrupciones de cuatro formas diferentes: dos por HARDWARE que son NMI e IRQ y dos por SOFTWARE, a saber, SWI y WAI.

- Interrupción no enmascarada NMI.

Para que una interrupción no enmascarada sea reconocida debe ocurrir una transición negativa en la línea de control NMI del MPU. Si ocurre esto, la ejecución de la instrucción corriente se termina, el estado de la unidad de microprocesamiento se salva en el STACK, el BIT I del registro de códigos de condición se pone en estado alto y en el contador de programa se carga la dirección contenida en el vector de interrupción correspondiente. El MPU inicia entonces la ejecución del programa del servicio de interrupción no enmascarada, el cual comienza con la instrucción que es direccionada por el contador de programa.

- Solicitud de interrupción IRQ.

Una solicitud de interrupción de un dispositivo periférico es indicada por un estado bajo en la entrada de control IRQ del MPU.

La unidad de microprocesamiento no responde a una solicitud de interrupción cuando el BIT I del registro de códigos de condición es uno. La ejecución normal del programa puede continuar hasta que el BIT I sea limpiado (I=0), lo cual habilita al MPU a responder a la solicitud de interrup-

ción. La ejecución de la instrucción corriente se termina antes de que se atienda la solicitud de interrupción; después se guarda el estado del MPU en el STACK. El valor del contador de programa que se guarda es la dirección de la instrucción siguiente que se hubiera ejecutado si la interrupción no hubiese ocurrido. (Si la última instrucción ejecutada fue un WAI la secuencia mencionada anteriormente no ocurre. La razón de esto es que el estado del MPU ya fue guardado por la ejecución de la instrucción WAI en preparación de la ejecución de la interrupción). Posteriormente el BIT I se pone en estado alto ($I=1$). Esto previene al MPU de la respuesta a más solicitudes de interrupción, a menos que el BIT I se limpie por la ejecución de alguna instrucción de programa. Después el contador de programa se carga con la dirección contenida en el vector de interrupción correspondiente al IRQ, y entonces el MPU procede a la ejecución del programa de servicio de solicitud de interrupción.

- Interrupción por SOFTWARE SWI.

La ejecución de la instrucción SWI guarda el estado del MPU en el STACK. El valor del contador de programa que se guarda es la dirección del SWI más uno. Después que el estado fue guardado el BIT I se hace uno y el contador de programa carga la dirección almacenada en el vector de interrupción correspondiente; el MPU entonces procede con la ejecución del programa de servicio de interrupción, el cual comienza con la instrucción direccionada por el contador de programa.

ma.

- Espera de interrupción WAI

Durante la ejecución de la instrucción WAI, el estado del MPU se guarda en el STACK. El valor que se guarda del contador de programa es la dirección de la instrucción WAI más uno. La ejecución de la instrucción WAI no cambia el estado del BIT I. Si el BIT I es uno, el MPU no responde a la solicitud de interrupción de ningún dispositivo periférico. La ejecución se detendrá después de guardar el estado del MPU y la ejecución continuará sólo si ocurre una interrupción no enmascarada o un RESET. Si el BIT I es cero, el MPU responde a la solicitud de interrupción de cualquier dispositivo que la presente. Si las líneas de entrada se encuentran en un estado alto, el MPU esperará hasta que la solicitud de interrupción llegue (con una transición a estado bajo). Si la solicitud de interrupción es señalada por la línea de entrada \overline{IRQ} la interrupción será atendida y seguirá la secuencia ya descrita, a partir de que el BIT se hace uno.

Señales de control y supervisión.- Las señales de control que controlan la ejecución del MPU se pueden dividir en cuatro clases:

- 1) Las dos fases de reloj ϕ_1 y ϕ_2 , que son señales que manejan los tiempos del sistema.
- 2) Las señales \overline{HALT} y BA que se usan para parar la ejecución de un programa y liberar al BUS de datos y direcciones para otros usos (tal como DMA).

- 3) El tercer grupo son las señales de interrupción que tienen la siguiente prioridad: $\overline{\text{RESET}}$, NMI , $\overline{\text{TRQ}}$.
- 4) Las señales TSC y DBE que dan una forma de manejar los BUSES para una ejecución de DMA.

A continuación daremos una explicación breve de estas señales.

Las fases ϕ_1 y ϕ_2 son dos fases complementarias, no traslapadas, de 5V. ϕ_2 se emplea para seleccionar o habilitar la entrada algún dispositivo determinado. Cuando ϕ_2 está en estado alto el sistema se encuentra en un estado de transferencia de información; es en este período cuando se puede realizar una operación de lectura o escritura. Cuando ϕ_1 está en estado alto el MPU está en estado de ejecución.

Las señales de interrupción NMI e $\overline{\text{TRQ}}$ ya fueron explicadas.

$\overline{\text{RESET}}$ es una señal usada para poner al sistema en una situación inicial prescrita (REST) o para iniciar al MPU desde una condición de encendido.

Por otro lado la señal de lectura/escritura ($\text{R}/\overline{\text{W}}$) es tal que cuando es uno se puede realizar un proceso de lectura y cuando es cero se puede realizar un proceso de escritura.

La señal VMA indica a la memoria y a los dispositivos de entrada/salida que el MPU está realizando una operación de lectura o escritura en un ciclo dado. Esta señal también se emplea para habilitar la entrada del dispositivo

seleccionado. Por otro lado deshabilita la transferencia de datos cuando VMA está en nivel cero.

La señal BA indica el estado corriente del MPU. Cuando BA es cero el MPU está en un proceso de ejecución. Si BA es uno el MPU está detenido y toda la actividad interna está detenida con los BUFFERS de datos y direcciones en estado de alta impedancia.

La señal HALT permite controlar al MPU en la ejecución de un programa. Si HALT es uno el MPU estará ejecutando; si es cero el MPU detendrá el proceso. En este modo (modo HALT) todas las líneas con lógica de tres estados estarán en estado de alta impedancia; la señal VMA será nivel cero y BA estará en estado alto.

TSC es una línea de control. Cuando esta línea está en uno lógico el CANAL de direcciones y la línea R/W se pone en estado de alta impedancia, lo que provoca un retardo en la ejecución del programa que realiza el MPU. El tiempo máximo que se puede mantener TSC = 1, sin que los datos del MPU se destruyan, es 45 μ s. (uno de los usos que se le da a esta línea es cuando se utiliza el DMA).

Si la señal DBE es uno habilita los BUFFERS de datos y si es cero es que están en estado de alta impedancia; ésta señal está sincronizada con ϕ_2 .

APENDICE C

PIA MC6821

La PIA provee al usuario una forma de recibir y/o transmitir información paralelo-paralelo entre equipos periféricos y el microprocesador, sin necesidad de una lógica externa. Tiene también usos tales como: acoplar un CDA, un CAD, una impresora de línea o algún otro elemento que utilice información en paralelo. La figura C.1 muestra el diagrama de bloques del MC6821 y a continuación se da una lista de sus características más importantes que presenta

- Un CANAL de datos bidireccional de 8 BITS para comunicación con el MPU.
- Dos CANALES de 8 BITS bidireccionales para acoplamiento con periféricos.
- Dos registros programables de control.
- Dos registros programables de dirección de datos.
- Cuatro líneas de entrada de control individual de interrupciones; dos utilizables como salidas de control de periféricos.
- Lógica de control de HANDSHAKE para operaciones periféricas de entrada y salida.
- Líneas de alta impedancia (tres estados).
- Programa de control de interrupciones y capacidad de solicitud de interrupciones.

- Capacidad de manejo de CMOS sobre las líneas periféricas del lado A.
- Compatibilidad con TTL.
- Operación estática.

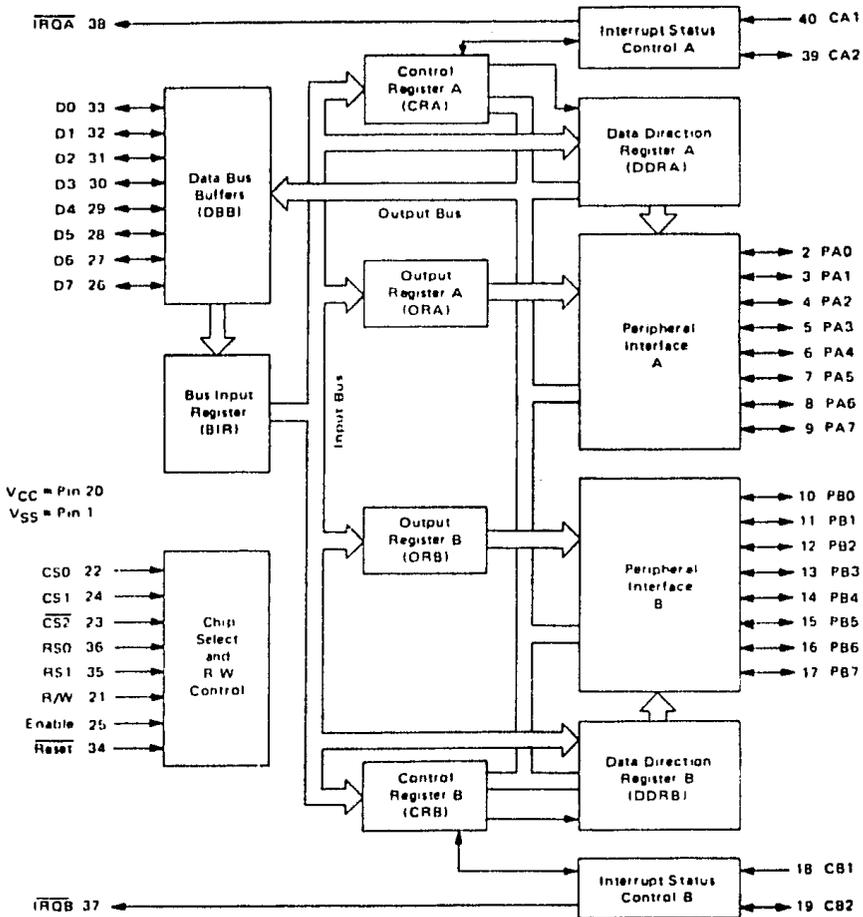


Figura C.1. Diagrama de bloque de una PIA (MC6821).

Como se muestra en la figura C.1, el acoplamiento con el MPU se realiza por medio de un CANAL bidireccional de datos de ocho BITS (D_0 - D_7) tres líneas de selección de CHIP (CS_0 , CS_1 , $\overline{CS_2}$), dos líneas de selección de registros (RS_0 , RS_1), dos líneas de solicitud de interrupción (\overline{IRQA} , \overline{IRQB}), una línea de lectura/escritura (R/\overline{W}), una línea de habilitación ($ENABLE$), y una de RESET. Estas señales, en conjunción con la salida VMA del MC6800, permiten al MPU tener un completo control sobre la PIA.

La línea de habilitación es conectada directamente con la fase del reloj ϕ_2 del MPU. Esto permite que la PIA reciba la señal de habilitación que le indica en qué momento puede realizarse una transferencia de información.

La señal de lectura/escritura es generada por el MPU para el control de la dirección de la transferencia de datos sobre el CANAL de datos. Un estado bajo en esta línea habilita al BUFFER de entrada y el dato es transferido del MPU a la PIA. Un estado alto sobre la línea de lectura/escritura, provoca que la PIA transfiera un dato al MPU. El BUFFER de la PIA es pues habilitado cuando la dirección apropiada de la información y la señal de habilitación están presentes. Cuando éste no es el caso, el BUFFER se encuentra en estado de alta impedancia.

La señal de RESET es activada con el estado bajo y es usada para poner todos los BITS de los registros de la PIA en un cero lógico. Esta línea también puede ser usada

como MASTER RESET durante la operación del sistema.

Las señales de selección de CHIP CS0, CS1, y $\overline{CS2}$, son tres señales de entrada que son usadas para seleccionar la PIA. CS0 y CS1 deben ser uno y $\overline{CS2}$ debe ser cero para seleccionar este dispositivo.

Las dos líneas de selección de registros RS0 y RS1 son utilizadas para seleccionar los registros existentes en la PIA. Usadas en conjunción con el registro de control interno permiten elegir un registro particular. El mecanismo de selección se detallará posteriormente (ver tabla C.1 más adelante).

Cuando las líneas de solicitud de interrupción \overline{IRQA} e \overline{IRQB} presentan una transición negativa (\downarrow) activan la interrupción en el MPU, ya sea directamente o a través de una circuitería de priorización. Cada una de las líneas de solicitud de interrupción tiene un BIT bandera que puede hacer que la línea \overline{IRQ} presente la transición negativa. Cada BIT bandera es asociado con una línea particular de interrupción. Estas banderas de interrupción son limpiadas cuando el MPU realiza una operación de lectura al registro periférico de datos (PDR) correspondiente.

Por otro lado, como se muestra en la figura C.1, la PIA está provista de dos CANALES de ocho BITS bidireccionales, PA0-PA7 (sección A) y PB0-PB7 (sección B); y cuatro líneas de interrupción/control, CA1, CA2 (sección A) y CB1, CB2 (sección B), que sirven para acoplar o intercomunicar a dispositivos periféricos.

La sección A de la PIA tiene ocho líneas de datos PA0-PA7 que pueden ser programadas para actuar como entradas o como salidas. Si ponemos unos en los correspondientes BITS del registro de direcciones de datos (DDR) para que las líneas sean salidas, entonces poner ceros en los BITS del DDR hace que las correspondientes líneas sean entradas. De la misma forma se programan las líneas de la sección B PB0-PB7.

Existen seis localidades dentro de la PIA que son accesables por el CANAL de datos del MPU: dos registros periféricos, dos registros de direcciones de datos y dos registros de control. La selección de esas localidades es controlada por las entradas RS0 y RS1 junto con dos BITS del registro de control, como muestra la tabla C.1.

RS1	RS0	BIT Registro de control		Localidad seleccionada
		CRA-2	CRB-2	
0	0	1	X	Registro periférico A
0	0	0	X	Registro de dirección de datos A
0	1	X	X	Registro de control A
1	0	X	1	Registro periférico B
1	0	X	0	Registro de dirección de datos B
1	1	X	X	Registro de control B

Tabla C.1. Tabla de selección de registros internos de la PIA.

Los dos registros de direcciones de datos DDRA y DDRB permiten al MPU controlar la dirección de transferencia de datos a través de cada una de las correspondientes líneas periféricas de datos. Anteriormente se explicó cómo se pueden definir como entradas o salidas cada una de las líneas del registro periférico.

Los dos registros de control CRA y CRB, permiten al MPU establecer y controlar los modos de operación de las líneas periféricas de control CA1, CA2, CB2. En la tabla C.2 se muestra la asignación de los BITS del registro de control que es igual para CRA y CRB.

Se puede observar que el BIT 2 de los registros de control es un habilitador del DDRB (DDRA). Este da la opción de escoger entre el registro periférico de datos (PDR) o el registro de dirección de datos (PDDR). Esto es debido a que tanto el registro periférico de datos como el de direcciones de datos están ubicados en la misma localidad. Si el BIT 2 del registro de control es nivel cero, se seleccionará el registro de direcciones de datos, si el nivel es uno se tendrá acceso a el registro periférico de datos.

Los cinco BITS menos significativos de ambos registros de control pueden ser seleccionados tanto para lectura como para escritura por el MPU, siempre y cuando en las líneas de selección de CHIP correspondientes se dé la señal de habilitación apropiada. Los BITS 6 y 7 de los dos registros son sólo de lectura y sus niveles son modificados por seña-

		Bits que controlan el modo de operación de CA2			Bits que controlan el modo de operación de CA1		
7	6	5	4	3	2	1	0
Es el bit bandera que indica si hubo o no solicitud de interrupción por CA1.	Es el bit bandera que indica si hubo o no solicitud de interrupción por CA2.	Si es cero entonces: CA2 será entrada. Si es uno entonces: CA2 será salida .	Si CA2 es entrada: la configuración de estos bits será igual que para los bits 0 y 1, si se desea manejar la interrupción. Si CA2 es salida tenemos: -bit 4=1 → CA2 sigue los estados del bit 3 -bit 4=0, bit 3=1→ CA2 dará un pulso bajo con una lectura al PDR -bit 4=bit 3=0 + estar en el modo de handshake.		Si es cero: se habilita al PDDR. Si es uno: se habilita al PDR.	Si es cero: la interrupción se habilita con una transición negativa (↓) en CA1. Si es uno: la interrupción se habilita con una transición positiva (↑) en CA1.	Si es cero: CA1 no habilita la interrupción. Si es uno: CA1 si habilita la interrupción.

Tabla C.2. Asignación de los BITS y modos de operación de los registros de control.

les externas provenientes de las líneas de control CA1, CB1, CA2 y CB2, de acuerdo al código establecido en los BITS del registro de control correspondiente. Las líneas de control, además de afectar a los BITS 6 y 7 del registro de control, pueden modificar el estado de las líneas \overline{IRQA} e \overline{IRQB} que van al MPU.

Dada la importancia de contar con un conocimiento más detallado de las formas de operación de las líneas de control, CA1, CA2, CB1 y CB2, a continuación se describen sus diferentes formas de uso.

Dado que el funcionamiento de las líneas CA1 y CB1 es idéntico, hablaremos indistintamente de ellas. CA1 y CB1 son líneas de entrada. Mediante una transición de estado en estas líneas puede provocarse que la línea de solicitud de interrupción \overline{IRQA} (\overline{IRQB}) sea habilitada. Este modo de operación es controlado por las condiciones de los BITS 0 y 1 del registro de control. El estado del BIT 1 determina con qué transición ($\uparrow=1$, $\downarrow=0$) se habilita la línea IRQ; una vez que se estableció cual es la transición activa, el BIT 0 deberá estar en 1 para que cuando ocurra la transición indicada, el BIT 7 se ponga en estado alto y la línea \overline{IRQ} se active. El BIT 7 se limpiará sólo cuando el procesador realice un proceso de lectura al PDR.

Las líneas de control CA2 y CB2 pueden usarse como entrada o como salida; su funcionamiento es muy similar y se describirá en seguida haciendo notar las diferencias cuando

existan. La línea de control CA2 (CB2) se configura por medio de los BITS 3, 4 y 5 del registro de control. El BIT 5 determina cuándo CA2 (CB2) se usa como entrada (BIT 5 = 0) o cuándo como salida (BIT 5 = 1).

Ahora bien, cuando CA2 (CB2) funciona como entrada su funcionamiento es idéntico al de CA1, con la excepción de que los BITS 3 y 4 son los que determinan la forma en que se habilitará la línea \overline{TRQ} . Además, al igual que CA1 y CB1, CA2 (CB2) tiene también un BIT bandera, el BIT 6, que se hace uno cada vez que ocurra la transición deseada y se borra sólo cuando el procesador efectúa una lectura al PDR.

Cuando se tiene a CA2 (CB2) como salida -es decir, cuando el BIT 5 es uno- y hacemos el BIT 4 uno, CA2 asume un estado igual al indicado en el BIT 3; por lo tanto el estado de CA2 puede controlarse por medio de un programa que controle al BIT 3.

Todavía existen otros dos modos de operación de CA2. Uno se tiene cuando BIT 5 = 1, Bit 4 = 0 y BIT 3 = 1; esto hace que el estado de la línea CA2 sea alto y cambiará a bajo cuando el procesador efectúa una lectura del registro periférico de datos (PDRA), permaneciendo así hasta que encuentre la primera transición negativa de E (ϕ_2). Este pulso negativo de salida puede usarse para indicar a un dispositivo externo que el procesador ha leído el dato. La función de CB2 difiere ligeramente: el estado de la línea CB2 será bajo y cambiará a alto sólo cuando el procesador escriba un dato

en el registro periférico de datos (PDRB), permaneciendo así hasta que encuentre la primera transición positiva de $E(\phi_2)$; análogamente a CA2, el pulso negativo de CB2 puede usarse como aviso de que el procesador ha escrito un dato en el PDRB.

El último modo de operación se tiene cuando el BIT 5 = 1, BIT 4 = 0 y BIT 3 = 0. En este modo CA1 y CA2 son utilizados conjuntamente. Cuando CA1 habilita la línea \overline{TRQA} -es decir, cuando ocurra la transición deseada- CA2 se pone en estado alto y sólo cambiará su estado hasta que el procesador haya realizado una lectura del PDR y ocurra la primera transición negativa de $E(\phi_2)$ después de la lectura. Esta forma de funcionamiento es muy útil cuando se desea realizar una transferencia de datos de un dispositivo periférico al procesador; cuando el dispositivo periférico tiene listo un dato, interrumpe al microprocesador por medio de CA1 y el dispositivo periférico se entera que el dato ha sido capturado por el procesador, mediante el cambio de estado de CA2. De esta manera, la parte A de la PIA permite manejar una transferencia de información de los dispositivos periféricos al microprocesador. En el caso en que la transferencia inversa sea deseada debe utilizarse la parte B; en este caso CB2 pasa a estado bajo cuando el procesador escribe un dato en el PDR y el dispositivo periférico avisará al microprocesador que el dato ha sido tomado por medio de una interrupción indicada a través de CB1, lo que provocará automáticamente que CB2 se ponga en estado alto.

APENDICE D

EQUIVALENCIAS DE VOLTAJES ENTRE SEÑALES
DE ENTRADA A NUESTRO CAD Y DE SALIDA DE
NUESTRO CDA

Entrada analógica [Volts]	Valor Hexade- cimal	Valor Deci- mal	Salida analógica [Volts]
- 2.50	00	0	0
- 2.48	01	1	0.047
- 2.46	02	2	0.094
- 2.44	03	3	0.141
- 2.42	04	4	0.188
- 2.40	05	5	0.235
- 2.38	06	6	0.282
- 2.36	07	7	0.329
- 2.34	08	8	0.376
- 2.32	09	9	0.423
- 2.30	0A	10	0.470
- 2.28	0B	11	0.517
- 2.26	0C	12	0.564
- 2.24	0D	13	0.611
- 2.22	0E	14	0.658
- 2.20	0F	15	0.705
- 2.18	10	16	0.757
- 2.16	11	17	0.799

Entrada analógica [Volts]	Valor Hexade- cimal	Valor Deci- mal	Salida analógica [Volts]
- 2.14	12	18	0.846
- 2.12	13	19	0.893
- 2.10	14	20	0.940
- 2.08	15	21	0.987
- 2.06	16	22	1.034
- 2.04	17	23	1.081
- 2.02	18	24	1.128
- 2.00	19	25	1.175
- 1.98	1A	26	1.222
- 1.96	1B	27	1.269
- 1.94	1C	28	1.316
- 1.92	1D	29	1.363
- 1.90	1E	30	1.410
- 1.88	1F	31	1.457
- 1.86	20	32	1.504
- 1.84	21	33	1.551
- 1.82	22	34	1.598
- 1.80	23	35	1.645
- 1.78	24	36	1.692
- 1.76	25	37	1.739
- 1.74	26	38	1.786
- 1.72	27	39	1.833
- 1.70	28	40	1.880
- 1.68	29	41	1.927

Entrada analógica [Volts]	Valor Hexadecimal	Valor Decimal	Salida analógica [Volts]
- 1.66	2A	42	1.974
- 1.64	2B	43	2.021
- 1.62	2C	44	2.068
- 1.60	2D	45	2.115
- 1.58	2E	46	2.162
- 1.56	2F	47	2.209
- 1.54	30	48	2.256
- 1.52	31	49	2.303
- 1.50	32	50	2.350
- 1.48	33	51	2.397
- 1.46	34	52	2.444
- 1.44	35	53	2.491
- 1.42	36	54	2.538
- 1.40	37	55	2.585
- 1.38	38	56	2.632
- 1.36	39	57	2.679
- 1.34	3A	58	2.726
- 1.32	3B	59	2.773
- 1.30	3C	60	2.820
- 1.28	3D	61	2.867
- 1.26	3E	62	2.914
- 1.24	3F	63	2.961
- 1.22	40	64	3.008
- 1.20	41	65	3.055

Entrada analógica [Volts]	Valor Hexade- cimal	Valor Deci- mal	Salida analógica [Volts]
- 1.18	42	66	3.102
- 1.16	43	67	3.149
- 1.14	44	68	3.196
- 1.12	45	69	3.243
- 1.10	46	70	3.290
- 1.08	47	71	3.337
- 1.06	48	72	3.384
- 1.04	49	73	3.431
- 1.02	4A	74	3.478
- 1.00	4B	75	3.525
- 0.98	4C	76	3.572
- 0.96	4D	77	3.619
- 0.94	4E	78	3.666
- 0.92	4F	79	3.713
- 0.90	50	80	3.760
- 0.88	51	81	3.807
- 0.86	52	82	3.854
- 0.84	53	83	3.901
- 0.82	54	84	3.948
- 0.80	55	85	3.995
- 0.78	56	86	4.042
- 0.76	57	87	4.089
- 0.74	58	88	4.136
- 0.72	59	89	4.183

Entrada analógica [Volts]	Valor Hexadecimal	Valor Decimal	Salida analógica [Volts]
- 0.70	5A	90	4.230
- 0.68	5B	91	4.277
- 0.66	5C	92	4.324
- 0.64	5D	93	4.371
- 0.62	5E	94	4.418
- 0.60	5F	95	4.465
- 0.58	60	96	4.512
- 0.56	61	97	4.559
- 0.54	62	98	4.606
- 0.52	63	99	4.653
- 0.50	64	100	4.700
- 0.48	65	101	4.747
- 0.46	66	102	4.794
- 0.44	67	103	4.841
- 0.42	68	104	4.888
- 0.40	69	105	4.935
- 0.38	6A	106	4.982
- 0.36	6B	107	5.029
- 0.34	6C	108	5.123
- 0.32	6D	109	5.170
- 0.30	6E	110	5.217
- 0.28	6F	111	5.264
- 0.26	70	112	5.311
- 0.24	71	113	5.358

Entrada analógica [Volts]	Valor Hexade- cimal	Valor Deci- mal.	Salida Analógica [Volts]
- 0.22	72	114	5.405
- 0.20	73	115	5.452
- 0.18	74	116	5.499
- 0.16	75	117	5.546
- 0.14	76	118	5.593
- 0.12	77	119	5.640
- 0.10	78	120	5.687
- 0.09	79	121	5.734
- 0.08	7A	122	5.781
- 0.07	7B	123	5.828
- 0.06	7C	124	5.875
- 0.05	7D	125	5.882
- 0.04	7E	126	5.922
- 0.02	7F	127	5.976
0.00	80	128	6.00
0.02	81	129	6.047
0.04	82	130	6.094
0.06	83	131	6.141
0.08	84	132	6.188
0.10	85	133	6.235
0.12	86	134	6.282
0.14	87	135	6.329
0.16	88	136	6.376

Entrada analógica [Volts]	Valor Hexade- cimal	Valor Deci- mal	Salida Analógica [Volts]
0.18	89	137	6.423
0.20	8A	138	6.470
0.22	8B	139	6.517
0.24	8C	140	6.564
0.26	8D	141	6.611
0.28	8E	142	6.658
0.30	8F	143	6.705
0.32	90	144	6.752
0.34	91	145	6.799
0.36	92	146	6.846
0.38	93	147	6.893
0.40	94	148	6.940
0.42	95	149	6.987
0.44	96	150	7.034
0.46	97	151	7.081
0.48	98	152	7.128
0.50	99	153	7.175
0.52	9A	154	7.222
0.54	9B	155	7.269
0.56	9C	156	7.316
0.58	9D	157	7.363
0.60	9E	158	7.410
0.62	9F	159	7.457
0.64	A0	160	7.529

Entrada analógica [Volts]	Valor Hexade- cimal.	Valor Deci- mal.	Salida Analógica [Volts]
0.66	A1	161	7.576
0.68	A2	162	7.623
0.70	A3	163	7.670
0.72	A4	164	7.717
0.74	A5	165	7.764
0.76	A6	166	7.811
0.78	A7	167	7.858
0.80	A8	168	7.905
0.82	A9	169	7.952
0.84	AA	170	7.999
0.86	AB	171	8.046
0.88	AC	172	8.093
0.90	AD	173	8.140
0.92	AE	174	8.187
0.94	AF	175	8.234
0.96	B0	176	8.281
.78	B1	177	8.328
1.00	B2	178	8.375
1.02	B3	179	8.424
1.04	B4	180	8.471
1.06	B5	181	8.518
1.08	B6	182	8.565
1.10	B7	183	8.612
1.12	B8	184	8.659

Entrada analógica [Volts]	Valor Hexade- cimal.	Valor Deci- mal.	Salida Analógica [Volts]
1.14	B9	185	8.706
1.16	BA	186	8.753
1.18	BB	187	8.800
1.20	BC	188	8.847
1.22	BD	189	8.894
1.24	BE	190	8.941
1.26	BF	191	8.988
1.28	C0	192	9.035
1.30	C1	193	9.082
1.32	C2	194	9.129
1.34	C3	195	8.176
1.36	C4	196	9.223
1.38	C5	197	9.270
1.40	C6	198	9.317
1.42	C7	199	9.364
1.44	C8	200	9.412
1.46	C9	201	9.459
1.48	CA	202	9.506
1.50	CB	203	9.553
1.52	CC	204	9.600
1.54	CD	205	9.647
1.56	CE	206	9.694
1.58	CF	207	9.741
1.60	D0	208	9.788

Entrada analógica [Volts]	Valor Hexade- cimal.	Valor Deci- mal.	Salida Analógica [Volts]
1.62	D1	209	9.835
1.64	D2	210	9.882
1.66	D3	211	9.929
1.68	D4	212	9.976
1.70	D5	213	10.023
1.72	D6	214	10.070
1.74	D7	215	10.118
1.76	D8	216	10.165
1.78	D9	217	10.212
1.80	DA	218	10.259
1.82	DB	219	10.306
1.84	DC	220	10.353
1.86	DD	221	10.400
1.88	DE	222	10.447
1.90	DF	223	10.494
1.92	E0	224	10.541
1.94	E1	225	10.588
1.96	E2	226	10.635
1.97	E3	227	10.682
1.98	E4	228	10.729
2.99	E5	229	10.776
2.00	E6	230	10.823
2.02	E7	231	10.870
2.04	E8	232	10.917

Entrada analógica [Volts]	Valor Hexade- cimal	Valor Deci- mal.	Salida Analógica [Volts]
2.06	E9	233	10.964
2.08	EA	234	11.011
2.10	EB	235	11.059
2.12	EC	236	11.106
2.14	ED	237	11.153
2.16	EE	238	11.200
2.18	EF	239	11.247
2.20	F0	240	11.294
2.22	F1	241	11.341
2.24	F2	242	11.388
2.26	F3	243	11.435
2.28	F4	244	11.482
2.30	F5	245	11.529
2.32	F6	246	11.576
2.34	F7	247	11.628
2.36	F8	248	11.670
2.38	F9	249	11.717
2.40	FA	250	11.764
2.42	FB	251	11.811
2.44	FC	252	11.858
2.46	FD	253	11.905
2.48	FE	254	11.952
2.50	FF	255	12.000