

121  
20



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DISEÑO E IMPLANTACION DE UN SISTEMA DE CONTROL ELECTRONICO PARA UN EQUIPO MEDICO DE DIALISIS PERITONEAL.

ELIS CON  
PALA DE ORIGEN

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

P R E S E N T A N

MOISES EUGENIO RUEDA GUTIERREZ  
FRANCISCO JAVIER PADILLA ARANALDE  
TOMAS MEDINA FLORES



DIRECTOR DE TESIS,  
ING. ABEL CLEMENTE REYES



## **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.

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN

INDICE	PAGINA
<b>CAPITULO 1            INTRODUCCION.</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO 2            DIALISIS PERITONEAL.</b>	
2.1 Los riñones	3
2.2 Insuficiencia renal crónica.	5
2.3 Diálisis Peritoneal.    Introducción.	6
2.3.1 Hemodíalisis.	7
2.3.2 Diálisis Peritoneal.	7
Bibliografía	10
<b>CAPITULO 3            SEGURIDAD ELECTRICA EN EQUIPO MEDICO Y                               NORMAS TECNICAS PARA DIALISIS PERITONEAL.</b>	
3.1 Seguridad eléctrica en equipo médico.	11
3.1.1 Efectos fisiológicos provocados por la corriente eléctrica.	11
3.1.2 Peligros de choque eléctrico en equipo eléctrico.	15
3.1.3 Métodos para prevenir accidentes.	17
3.2 Normas técnicas para equipo de diálisis peritoneal.	19
3.2.1 Objetivos.	19
3.2.2 Alarmas y monitores.	19
3.2.3 Requisitos generales de seguridad.	20
3.2.4 Marcado.	20
Bibliografía	22
<b>CAPITULO 4            MEDIOS DE ENTRADA-SALIDA.</b>	
4.1 Sistemas de medición.	23
4.2 Transductores	23
4.2.1 Clasificación de los transductores	24
4.2.2 Selección de un transductor	26
4.2.3 Errores más comunes que se presentan en los transductores	27
4.2.4 Transductores de temperatura	32
4.2.5 Transductores de desplazamiento	41
4.3 Actuadores.	49
4.3.1 Clasificación de los actuadores.	49
4.3.2 Actuadores eléctricos.	50
4.3.3 Selección de un actuador	57
4.4 Interfaces optoelectrónicas.	59
4.5 Acoplamiento por inducción	64
4.6 Dispositivos convertidores.	67
4.6.1 Convertidor analógico digital (A/D).	68
4.6.2 Convertidor digital analógico (D/A).	70

4.6.3 Características técnicas de convertidores comerciales.	71
4.7 Teclados.	72
4.7.1 Tipos de teclados.	72
4.7.2 Roll-over de orden N.	74
4.7.3 Rebote de teclas.	76

Bibliografía

**CAPITULO 5 SISTEMAS DE CONTROL.**

5.1 Sistemas de control eléctricos y electrónicos.	81
5.1.2 Tipos de sistemas de control.	82
5.2 Clasificación y características de sistemas digitales.	84
5.2.1 Sistemas de control regulador.	85
5.2.2 Sistemas de control supervisor.	85
5.3 Niveles jerárquicos de sistemas reguladores de control.	88
5.4 Sistemas de control digital directo (DDC).	90
5.5 Autoprueba.	93
Bibliografía	94

**CAPITULO 6 ALGORITMOS DE CONTROL.**

6.1 Introducción.	95
6.2 Algoritmos de control.	95
Bibliografía	104

**CAPITULO 7 SISTEMAS DE SUMINISTRO Y RESPALDO DE ENERGIA**

7.1 Sistemas de suministro (fuente de alimentación).	103
7.2 Características de una fuente de alimentación.	103
7.2.1 Regulación de carga.	103
7.2.2 Regulación de línea.	106
7.2.3 Rechazo de ruido.	106
7.3 Proceso de regulación de voltaje.	107
7.3.1 Rectificación.	107
7.3.2 Filtro.	109
7.3.3 Regulación.	111
7.4 Reguladores de conmutación.	116
7.5 Respaldo de energía.	117
Bibliografía	119

<b>CAPITULO 8</b>	<b>LIMITANTES DE DISEÑO.</b>	
8.1	Proces. de la dígitas peritoneal.	120
8.2	Requerimientos de diseño.	122
8.3	Estrategia de diseño.	128
	Bibliografía.	132
<b>CAPITULO 9</b>	<b>DISEÑO E IMPLANTACION DEL PROTOTIPO.</b>	
9.1	Diseño electrónico.	133
9.1.1	Unidad de control.	134
9.1.2	Lógica de decodificación.	137
9.1.3	Memorias.	140
9.1.4	Puertas.	144
9.1.5	Medios de entrada.	146
9.1.6	Medios de salida.	148
9.1.7	Fuente de suministro de energía.	153
9.1.8	Calentamiento del diáxizato.	155
9.2	Programación del sistema.	156
9.3	Implantación del prototipo.	159
	Bibliografía.	162
<b>CAPITULO 10</b>	<b>PRUEBAS DE CAMPO.</b>	
10.1	Parte electrónica.	163
10.2	Programa.	165
<b>CAPITULO 11</b>	<b>CONCLUSIONES Y COMENTARIOS.</b>	169
<b>APENDICES</b>		
<b>APENDICE A</b>	Soluciones comerciales.	172
<b>APENDICE B</b>	Respaldo de energía.	175
<b>APENDICE C</b>	Microprocesador Z80.	177
<b>APENDICE D</b>	Contador cronómetro Z80CTC	184
<b>APENDICE E</b>	Convertidor analógico digital ADC0808	191
<b>APENDICE F</b>	Diagramas electrónicos de los diferentes módulos del sistema de dígitas peritoneal	
<b>APENDICE G</b>	Configuración de terminales de diversos circuitos integrados	
<b>APENDICE H</b>	Diagrama de flujo del algoritmo de control Programa	
<b>APENDICE I</b>	Distribución de componentes	

# CAPITULO 1

## INTRODUCCION

Durante años el hombre moderno ha buscado continuamente medios que permitan la sustitución parcial o total de órganos vitales como son el corazón, el hígado, el páncreas, el riñón, entre otros debido a que, en ocasiones, dichos órganos no puedan realizar sus funciones correctamente. Esa sustitución de órganos se realiza con el fin de que los individuos con algún tipo de insuficiencia, puedan llevar una vida normal o, en casos críticos, les permita seguir viviendo.

En base a lo anterior, existen algunos medios artificiales para realizar funciones vitales del organismo, los cuales han alcanzado altos niveles de desarrollo, lo que permite la implantación de ciertos dispositivos dentro del organismo siendo autosuficientes y de gran confiabilidad. Sin embargo, existen órganos en los que no ha sido posible alcanzar el nivel de implantación artificial, por lo que la insuficiencia es cubierta realizando la implantación con órganos sanos o bien, con medios artificiales extracorpóreos. El riñón es un claro ejemplo de este caso. Cuando no se puede realizar el trasplante o cuando se presenta rechazo en el organismo en que se llevó a cabo dicho trasplante, es necesario realizar las funciones propias del riñón mediante un equipo conocido como riñón artificial, mismo que desarrolla la función de diálisis (eliminación de sustancias tóxicas en la sangre) por lo que a esta clase de equipo también se le conoce como máquina de diálisis.

En México los equipos de diálisis normalmente son de costo elevado, por ser de importación, debido a que no existe producción nacional. Como consecuencia, dichas máquinas se concentran en hospitales que cuentan con recursos económicos suficientes para adquirirlas. Normalmente estos hospitales se concentran en ciudades con población considerable. Por esta razón, gran cantidad de gente queda sin la posibilidad de hacer uso de las máquinas de diálisis. A partir de esto, surge la necesidad y la importancia de que se desarrolle una tecnología nacional que permita la fabricación de esas máquinas.

En este proyecto se presentan las bases para el desarrollo de una máquina de diálisis peritoneal mediante tecnología nacional, con la característica primordial de ser de bajo costo; además de ser competitiva en el aspecto de calidad, en relación a las máquinas ya existentes.

A lo largo de este trabajo se describe el riñón, su funcionamiento, la insuficiencia renal crónica y los tipos comunes de diálisis. Además, se presentan las características que deben tener los medios de entrada y salida necesarias para la interacción de la máquina de diálisis con el usuario; posteriormente, se presenta un breve resumen de los principales tipos de sistemas de control y los algoritmos empleados en ellos. Se mencionan las características de fuentes de suministro de energía así como los respaldos necesarios en caso de fallas en el

mismo. Una vez presentados estos puntos, se mencionan las limitantes de diseño, a fin de conocer las características que deberá tener el equipo y así posteriormente efectuar la implantación del prototipo de la máquina de diálisis peritoneal. Finalmente, se realizan las correspondientes pruebas de campo al equipo, con el propósito de garantizar su buen funcionamiento.

Cabe mencionar que en este estudio, se escoge la máquina de diálisis peritoneal como modelo, por ser el tipo de diálisis de menor costo para el paciente; además de requerir menor cantidad de material de consumo, a parte de basarse en el método que menos cuidados médicos requiere.

# CAPITULO 2

## DIALISIS PERITONEAL

Para comprender el concepto de la *dialisis peritoneal* primero se debe conocer el funcionamiento del riñón, así como el de la insuficiencia renal crónica. En los siguientes subtemas se explica en términos generales la actividad de los riñones así como el objetivo, indicaciones y funcionamiento de la *dialisis peritoneal*.

### 2.1.- Los riñones.

Los riñones son dos órganos del cuerpo humano cuya forma se asemeja a la de un frijol. El riñón tiene una longitud promedio en un adulto de 12 cm, una anchura de 7 a 8 cm y un espesor de 4 cm; tiene un peso aproximado de 140 g en el hombre y de 120 g en la mujer. Es de un color rojo oscuro y de una consistencia bastante firme. Ver figura 2.1.

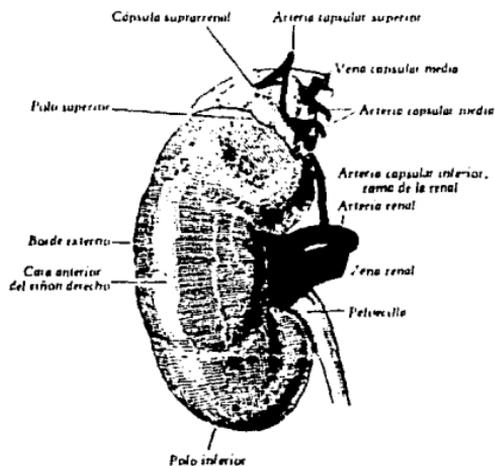


Fig 2.1 Riñón derecho visto por su cara anterior.

Como se puede apreciar en la figura 2.2, los riñones se encuentran ubicados justamente detrás de las costillas undécima y duodécima cerca de la espina dorsal. Se encuentran aplicados a la pared posterior del abdomen por detrás del peritoneo.

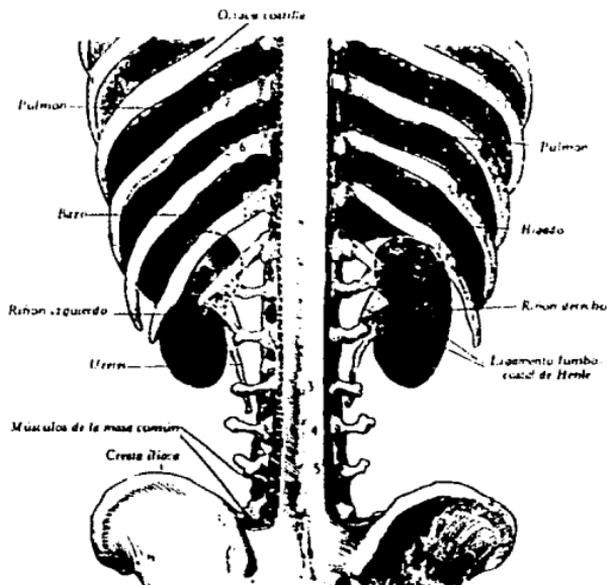


Fig. 2.2 Posición de los riñones vistos por su cara posterior.

Normalmente los riñones son dos, pero en ocasiones existe un riñón supernumerario al lado o por arriba de cualquiera de ellos, o incluso puede existir un sólo riñón. También puede ocurrir como variante que estén unidos por su polo superior, formando un sólo cuerpo renal llamado en herradura, o bien estar unidos sus dos polos, constituyendo al riñón anular.

La función principal de los riñones es hacer que las sustancias químicas en el organismo como la sal y los líquidos, principalmente el agua, se mantengan presentes en cantidades normales, ya que algunas de estas sustancias son necesarias en el torrente sanguíneo. Otras por el contrario deben ser removidas en mayor cantidad, como por ejemplo la urea, creatina y el ácido úrico que son llamados productos finales del metabolismo o de desecho por que son el resultado final de las actividades del organismo. Estas sustancias químicas son el desperdicio normal que se produce en el cuerpo humano.

Los riñones son los maestros químicos del organismo; se encargan de extraer los productos tóxicos que circulan en la sangre así como de regular el agua y las sustancias químicas necesarias para el buen funcionamiento del mismo. Ellos hacen su trabajo funcionando como filtros muy hábiles. Filtran los productos finales y se deshacen de ellos en forma de orina, también son los encargados de retener las sustancias químicas que el cuerpo necesita y regresarlas al torrente sanguíneo. En el polo superior de ambos riñones se encuentran las glándulas suprarrenales las cuales producen ciertas hormonas, entre ellas, las mineralcorticoides que intervienen en el metabolismo del agua, del sodio y del potasio.

Regularmente el agua y el sodio se filtran a través de los nefrones. Una gran parte del agua y del sodio son reabsorbidos a través de los tubulos por la acción de las hormonas mineralcorticoides antes mencionadas.

Los elementos del riñón que realizan el filtrado son los *nefrones*. Existen más de un millón de nefrones en el riñón normal de un adulto. La mayor parte de la sangre en el cuerpo es filtrada una y otra vez por ellos. El procedimiento de filtrado de la sangre es el siguiente: la sangre entra a los riñones a través de la arteria renal siguiendo los colaterales y posteriormente pasa a ser filtrada por los nefrones. Por último, la sangre filtrada regresa a los vasos sanguíneos para ser distribuida a todas las partes del cuerpo.

Cerca de 90 litros de sangre circular por los riñones cada hora. La filtración es el primer paso en la formación de orina. El filtrado glomerular, rico en minerales y productos tóxicos, pasa enseguida a través de los túbulos (nefrones) en los que una parte de los minerales y productos tóxicos son reabsorbidos por el organismo. El líquido que permanece despues de este proceso es la orina. Esta se colecta en las cavidades del riñón y en la vejiga para ser expulsada por la uretra.

El volumen de orina eliminado cada 24 horas por un adulto sano en circunstancias ordinarias varia entre 1000 y 1800cm<sup>3</sup>. Un riñón normal según las necesidades del momento, puede reducir hasta 25cm<sup>3</sup>/hr o aumentar hasta 1200cm<sup>3</sup>/hr su producción de orina, aunque por factores como la dieta, la cantidad de líquido bebido, la temperatura, la humedad del medio ambiente, la postura del cuerpo, el ejercicio, la excitación mental, el peso, la edad y el sexo son factores que modifican dicho volumen.

## 2.2.- Insuficiencia renal crónica.

Son varias las condiciones que pueden suspender el trabajo de los riñones. Generalmente pasa un tiempo muy largo para que un riñón lesionado deje de funcionar. Por ejemplo, la glomerulonefritis, (inflamación de una parte del riñón llamada glomerulo) es la enfermedad que más a menudo causa la insuficiencia renal crónica, los nefrones son, lesionados lentamente o destruidos. A medida que la enfermedad progresa, no

Hay suficientes nefrones sanos para hacer la filtración. Otra causa de la insuficiencia renal (aun en su grado menor) es la hipertensión (presión arterial alta). Esta puede causar que disminuya el calibre de la arteria renal pasando menos sangre a través de ésta de modo que no hay suficiente sangre para ser filtrada.

Cuando una enfermedad o una lesión disminuye o detiene el funcionamiento de los riñones, los productos finales de desecho permanecen en la sangre y como consecuencia el equilibrio entre las sustancias químicas minerales y el agua, es incorrecto, por otro lado se altera la producción de hormonas.

El exceso de productos metabólicos finales en el cuerpo causan serios y peligrosos síntomas dependiendo la concentración de los mismos pudiendo ir desde debilidad, cansancio, náusea, vómito, trastornos cardíacos, trastornos en el sueño, edema (hinchazón), dificultad para respirar (disnea) y pérdida del apetito. En concentración alta y estados graves se presentan síntomas como visión borrosa, coma o convulsiones, respiración ruda, estupor y tensión arterial alta. A esta condición se le llama uremia.

### 2.3- Diálisis peritoneal. Introducción.

Para comprender el procedimiento de la diálisis peritoneal primero se mencionarán algunos conceptos básicos de importancia.

Todas las moléculas de los líquidos y gases tienen la característica de moverse o difundirse en todas direcciones hasta que se encuentran distribuidas regularmente por todo el espacio disponible. Se define el fenómeno de la *DIALISIS* como el movimiento de las moléculas de una región de alta concentración a otra de menor concentración, producido por la energía cinética de las moléculas a través de una membrana; el hecho de que una membrana deje pasar moléculas de una sustancia depende de la estructura o del tamaño de los orificios con que cuenta ésta. Se dice que la membrana es permeable si permite el paso de cualquier sustancia, e impermeable si no deja pasar ninguna. Cuando deja pasar ciertas sustancias pero no otras, se dice que posee permeabilidad diferencial. La permeabilidad es una propiedad de la membrana y no de la sustancia en difusión. El paso de una sustancia disuelta a través de una membrana dotada de permeabilidad diferencial se llama difusión. Por otro lado, la difusión de agua o moléculas de solvente a través de una membrana se denomina *osmosis*.

La difusión y la osmosis son dos casos particulares de diálisis; la primera es la difusión de partículas disueltas (solute) a través de una membrana semipermeable y la segunda es la difusión de moléculas de solvente a través de la misma.

Algunas veces, los riñones continúan haciendo su función aún cuando están lesionados. Cuando están muy dañados y no pueden o difícilmente trabajan, entonces es necesario realizar la diálisis.

La diálisis en este caso realiza el trabajo del riñón deshaciéndose de los productos finales del metabolismo, removiendo la sal y el agua además de retener la mayoría de los minerales necesarios para el organismo.

Existen dos clases de diálisis: la hemodiálisis y la diálisis peritoneal. La primera es realizada por una máquina, mientras que la segunda la realiza el propio organismo. Cada una emplea una clase especial de membrana para eliminar algunas sustancias químicas, productos de desecho y agua extra en la sangre por medio de una solución lavadora especial llamada dializato. En cualquiera de ellas se usa una membrana del tipo semipermeable, delgada y móvil, de algún material tal como plástico, hule o tejido humano vivo. Esta membrana permite pasar al agua y a algunas partículas pequeñas.

### 2.3.1.- Hemodiálisis.

La hemodiálisis es el tipo de diálisis que se realiza con una máquina llamada *riñón artificial*. En este caso la sangre tiene que salir del cuerpo para ser filtrada. El médico practica una apertura (fistula) quirúrgica en un brazo o en una pierna con el fin de canalizar el vaso sanguíneo de modo que una aguja pueda ser insertada fácilmente para aspirar la sangre que va a ser filtrada, esto es, la sangre es primero bombeada a la máquina a través de un tubo (sonda), después es filtrada dentro de la máquina a través de una membrana y finalmente es regresada al torrente sanguíneo.

La hemodiálisis es muy efectiva para gente con insuficiencia renal y que requiere la diálisis. Siempre es necesario que esté presente personal médico calificado para el cuidado del paciente, y por ello la hemodiálisis siempre se realiza en un hospital o clínica por los miembros de la unidad de diálisis y no por pacientes en casa.

### 2.3.2.- Diálisis peritoneal.

El segundo procedimiento de diálisis, es el de diálisis peritoneal. A diferencia de la hemodiálisis, la diálisis peritoneal la realiza el cuerpo humano y no una máquina. En este caso no se bombea la sangre fuera del cuerpo hacia la membrana. La diálisis peritoneal hace uso de una membrana semipermeable para realizar el proceso de filtrado, la cual se encuentra dentro del organismo. Esta membrana es la membrana peritoneal, también llamada peritoneo.

#### La membrana peritoneal y la cavidad peritoneal

Existe una cubierta o forro dentro del abdomen constituida por dos capas, la parietal y la visceral. La primera se encuentra ubicada justamente encima de las costillas inferiores hasta la

parte superior de los huesos de la pelvis, mientras que la segunda se encuentra alrededor de los órganos en el abdomen incluyendo el estómago y los intestinos. Ver figura 2.3.

Estos dos forros constituyen la membrana peritoneal, la cual presenta la característica de ser semipermeable. Recibe el nombre de cavidad peritoneal el espacio existente entre las dos capas de la membrana peritoneal, ésta es lo suficientemente grande para almacenar el líquido dializante necesario para realizar la limpieza de la sangre.

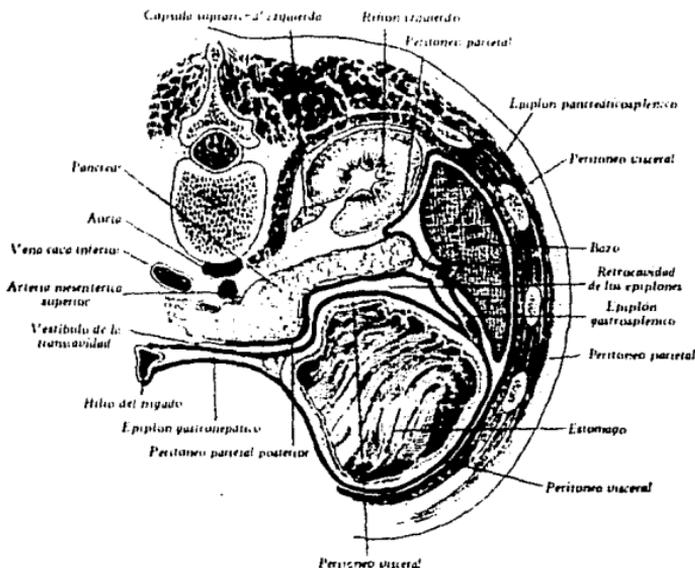


Fig. 2.3 Corte horizontal del tronco mostrando la disposición del peritoneo.

Para poder llenar la cavidad peritoneal con el dializato, se debe de realizar una incisión abdominal por el médico de tal modo que la punta del catéter pueda entrar directamente a la cavidad peritoneal. Entonces se coloca el dializato dentro de esta cavidad a través de dicho catéter que se deja permanentemente de tal manera que sea fácil de llenar o drenar al paciente.

## Dializato

El dializato se presenta en paquetes de plástico o de vidrio ya preparados listos para usarse. El dializato está constituido de agua estéril (libre de gérmenes) con una clase especial de azúcar (dextrosa), y una cantidad pequeña de algo de los mismos minerales que hay normalmente en la sangre. Algunos minerales en el dializato son llamados electrolitos los cuales son muy importantes para mantener la salud.

## Tiempo de permanencia y drenaje

Durante la diálisis peritoneal, el dializato permanece en la cavidad peritoneal el tiempo suficiente para que la difusión se efectúe. Este periodo de tiempo se llama tiempo de permanencia. Al final de este tiempo, el dializato contendrá los productos finales o de desecho y el agua extra que se ha removido fuera de la sangre. El dializato será entonces drenado fuera de la cavidad peritoneal a través del catéter hacia una bolsa de desecho. El drenaje se hace por gravedad, esto es, la bolsa de desecho estará colocada más abajo del abdomen de modo que el dializato resbale hacia esta.

Una de las ventajas de la diálisis peritoneal es que es suave y lenta. El balance líquido y mineral del organismo vuelve a lo normal poco a poco. De modo que la persona, al ser dializada no se sienta a disgusto o enferma debido a cambios rápidos en estos balances. Cuando la persona tenga sus primeros tratamientos de diálisis peritoneal, probablemente tenga una sensación de llenura cuando el dializato se encuentra dentro de la cavidad peritoneal.

## Bibliografía

- Dr. Mario Rodríguez Pinto  
Anatomía Fisiología e Higiene  
Ed. Progreso, S.A.
  
- Dr. Fernando Quiroz Gutiérrez  
Tratado de Anatomía Humana  
Ed. Porrúa, S.A.
  
- Dr. James D. Hardy  
Fluid Therapy  
Ed. Lea & Febiger

# CAPITULO 3

## SEGURIDAD ELECTRICA EN EQUIPO MEDICO Y NORMAS TECNICAS PARA DIALISIS PERITONEAL

### 3.1.- Seguridad eléctrica en equipo médico.

Recientemente se ha encontrado una mayor aplicación para los equipos eléctricos y electrónicos en el campo médico. En un principio se prestaba poca o nula atención a los riesgos que presentaban dichos equipos (como eran malas conexiones a tierra física, malos aislamientos, etc.). Alrededor del año de 1970 se publicaron varios artículos sobre el peligro del microchoque eléctrico, el cual había cobrado muchas víctimas en las unidades de cuidado intensivo. Este tema llamó la suficiente atención para que se preocupara más sobre los peligros eléctricos que se presentaban en los equipos médicos dando como resultado la aparición de numerosas reglamentaciones y estándares que pretendían mejorar la seguridad eléctrica en el hospital. Estas normas se han atacado mucho diciendo que aumentan el costo del equipo médico; sin embargo, han contribuido en forma definitiva tanto para el mejoramiento del diseño de los equipos, como para el uso médico y finalmente para salvar vidas.

#### 3.1.1.- Efectos fisiológicos provocados por la corriente eléctrica.

Los accidentes eléctricos son causados por la interacción de la corriente eléctrica con los tejidos del cuerpo. Para que ocurra un accidente, debe de circular una corriente eléctrica a través del cuerpo con valor lo suficientemente alto para afectar órganos vitales. Tres condiciones deben de presentarse simultáneamente (ver figura 3.1 (a)) para que ocurra un accidente: primero debe de tenerse un punto de contacto en el cuerpo con la tierra física, además se debe de tener otro punto de contacto en el cuerpo para que cierre el circuito eléctrico (llamados arbitrariamente primero y segundo contacto), además de estos dos puntos de contacto, debe existir una fuente de voltaje que sirva para proporcionar la corriente que circule entre los puntos de contacto.

Los efectos fisiológicos de la corriente no sólo dependen de su magnitud, sino también de la trayectoria que siga por el cuerpo, que a su vez dependen de la localización de los contactos. Dos situaciones particulares deben de considerarse separadamente: cuando los puntos de contacto están sobre la superficie del cuerpo y cuando uno de los puntos de contacto está directo al corazón. Así pues, el primer caso se conoce como *macrochoque*, mientras que el segundo se conoce como *microchoque*.

La figura 3.1(b) muestra un modelo generalizado de un accidente eléctrico donde:

$R_f$  es la resistencia de fuga.  
 $R_{c1}$  y  $R_{c2}$  son las resistencias de los contactos.  
 $R_B$  es la resistencia del cuerpo.  
 $R_R$  es la resistencia de retorno a tierra.

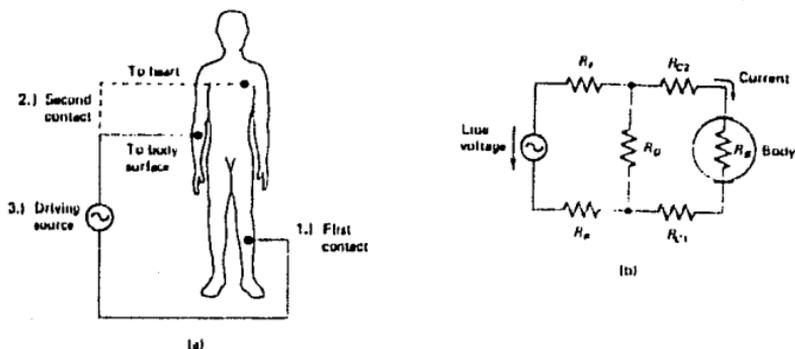


Fig 3.1 Accidentes eléctricos. (a) Condiciones necesarias. (b) Modelo generalizado de la distribución de resistencias.

Básicamente la corriente eléctrica puede afectar a los tejidos de dos formas diferentes. Primero, la energía eléctrica disipada por la resistencia del tejido puede provocar que aumente la temperatura, si se alcanzan temperaturas lo suficientemente altas, se puede presentar daño en el tejido (quemaduras). Con corriente doméstica las quemaduras eléctricas normalmente se limitan a los puntos de contacto o cerca de ellos, en donde la densidad de corriente es mayor. En lugares en donde se trabaja con alto voltaje la energía eléctrica disipada por el tejido ocasionada por alguna descarga eléctrica, produce quemaduras de gravedad.

La segunda forma en que los tejidos del organismo se pueden lesionar o afectar es mediante la aplicación de pulsos eléctricos en zonas motoras y sensoriales. La sensibilidad y los movimientos del cuerpo son posibles debido a la transmisión de pulsos eléctricos a través de los nervios que conectan al cerebro y los diferentes puntos de sensación o de movimiento. Los pulsos eléctricos que se transmiten a través de nervios sensores y motrices están relacionados con potenciales provocados por reacciones electroquímicas realizadas por el propio organismo. Una corriente eléctrica ajena al cuerpo humano con la suficiente magnitud a su paso, puede provocar voltajes locales semejantes a los producidos por el cerebro para que se disparen potenciales de acción y así estimular nervios. Cuando son estimulados los nervios sensoriales, se produce una sensación de cosquilleo, con

una intensidad mayor se convierte en desagradable, molesta y algunas veces dolorosa. Cuando el estímulo es aplicado a los nervios motrices, se provoca la contracción de las fibras musculares o bien grupos de músculos son afectados. Un estímulo lo suficientemente fuerte puede provocar tetanos<sup>1</sup> en los músculos, en donde todas las fibras posibles se contraen y la fuerza máxima de los músculos se desarrolla.

Una corriente eléctrica que fluya por el cuerpo puede ser peligrosa y mortal si se generan densidades de corrientes locales en órganos vitales, con magnitudes de suficiente valor para interferir con las funciones de éstos. El grado en que cierto órgano es afectado, depende de la magnitud de la corriente y de la localización de los puntos de contacto eléctrico en el cuerpo en relación al órgano. La parálisis respiratoria puede presentarse si los músculos del tórax se tetanizan por una corriente eléctrica que fluya por el pecho o bien que fluya a través del centro de control de la respiración en el cerebro.

La magnitud de la corriente eléctrica que se necesita para producir cierto efecto fisiológico en una persona es influenciado por muchos factores. La figura 3.2 muestra los rangos de corriente alterna a 60Hz aplicados al cuerpo humano y sus efectos por exposición o contacto de un segundo. Para aquellos efectos que involucran al corazón y a la respiración, se supone que la corriente se aplica al cuerpo por contacto eléctrico a través de las extremidades, de tal forma que la trayectoria que siga pase por la región torácica (pierna a brazo o brazo a brazo).

Para la mayoría de la gente, la percepción eléctrica a través de la piel para un estímulo suave en un dedo es de aproximadamente 500µA; también se pueden detectar corrientes mucho más bajas con la lengua. Sujetando firmemente un contacto con el puño cerrado a través del cual fluya una corriente eléctrica es de aproximadamente 1mA. Una corriente que no exceda los 5mA, normalmente no es considerada como dañina, pero la sensación a este nivel llega a ser muy desagradable y dolorosa. Cuando circulan corrientes del orden de 10 o 20mA a través de la mano, entonces se pueden tetanizar los músculos del brazo y hacer imposible soltar el conductor. La máxima corriente que una persona puede soportar y aún para poder soltar voluntariamente al conductor se le llama nivel de corriente de liberación de línea.

La fibrilación ventricular<sup>2</sup> puede ocurrir a corrientes de más de 75mA; esto es, cuando los ventrículos del corazón están inmóviles haciendo que el ritmo usual de contracción del corazón no sea efectivo y por tanto la circulación de sangre no se realice adecuadamente. Esta situación normalmente causa la muerte instantánea, mientras que corrientes de un máximo de 1 o 2A pueden causar contracción del corazón, pero con recuperación posible si la corriente es retirada a tiempo. Esta condición puede ir acompañada de parálisis respiratoria.

<sup>1</sup> Tetanizar. Se refiere a cuando circula una corriente muy alta a través del músculo contrayéndose este sostenidamente.

<sup>2</sup> Fibrilación. Cuando las contracciones fibrilares superficiales del músculo cardíaco, no llegan a producir una contracción eficiente, provocando arritmia ventricular.

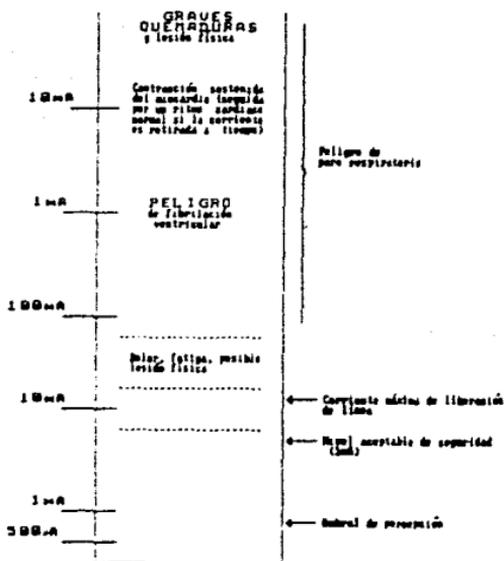


Fig. 3.2 Efectos fisiológicos producidos por la circulación de la corriente eléctrica a 50Hz y durante un segundo.

En experimentos de límite de sensación y de corrientes de liberación de línea, se ha encontrado que los efectos son independientes de la frecuencia hasta los 1000Hz, a partir de aquí, al aumentar la corriente proporcionalmente a la frecuencia se obtienen los mismos resultados.

El voltaje que se requiere para causar circulación de corriente depende directamente de la resistencia eléctrica que presenta el organismo a la corriente. Esta resistencia es afectada por numerosos factores y puede variar desde unos cuantos ohms hasta megohms. La mayor resistencia que presenta el cuerpo se encuentra en la piel y principalmente cuando se encuentra seca.

El inverso de esta resistencia, la conductancia, es proporcional al área de contacto y también depende de la condición de la piel. La piel que esté intacta (sin cortadas) y seca tiene una conductancia extremadamente baja. Esta baja conductancia se encuentra en el epitelio (que es la parte más externa de la piel).

la cual provee la protección eléctrica natural al cuerpo. Cuando esta capa es permeabilizada por un fluido, la conductividad de la piel puede aumentar dos veces el valor de su magnitud. Si la piel está cortada, o si objetos conductivos se encuentran introducidos en el cuerpo, tales como agujas hipodérmicas; entonces la resistencia de la piel se reduce dramáticamente, esto es, la conductancia aumenta notoriamente (la resistencia medida entre los contactos puede ser tan baja como de 500Ω).

### 3.1.2.- Peligros de choque eléctrico en equipo eléctrico.

Ejemplo de un sistema típico de distribución eléctrica de un hospital se muestra en forma simplificada en la figura 3.3. De la subestación principal del hospital, la potencia es distribuida a edificios independientes a 4800V, generalmente por instalación subterránea. Cada edificio cuenta con un transformador de reducción, el cual consta de un devorado en el secundario para obtener un voltaje de 230V y una derivación central, de tal forma que puede proporcionar dos circuitos de 115V. La derivación central se encuentra aterrizada por medio de un poste de tierra física (bayoneta clavada en la tierra) o bien por medio de una tubería de agua. Los equipos eléctricos de carga pesada, como equipos de aire acondicionado o clima artificial, hornos, equipos de rayos X, requieren de alimentación de 230V, que se toma de las dos terminales (fase a fase) que no están aterrizadas en el secundario del transformador. Luminarias y conectores de energía reciben 115V por un cable negro o rojo llamado vivo y por un cable blanco llamado neutro el cual está conectado a la derivación central del transformador.

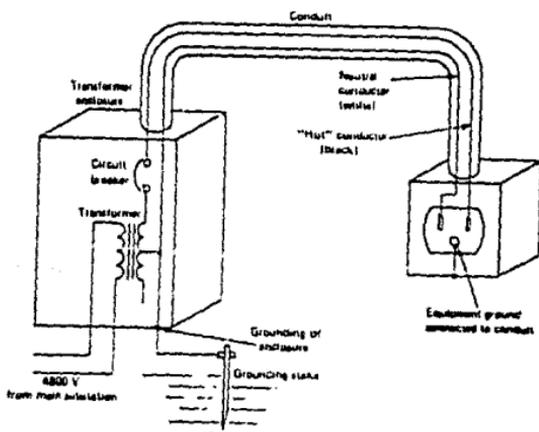


Fig. 3.3 Esquema simplificado de la distribución de corriente eléctrica.

Una persona, para estar expuesta al peligro de un macrochoque eléctrico, debe de estar en contacto con los dos conductores, el vivo y el neutro, o bien con los dos vivos en el caso del circuito 230V; pero de todas formas, debido a que la tierra está conectada a la tierra física el peligro es el mismo si se está en contacto con el conductor vivo y con cualquier objeto que sea conductor que esté en contacto de alguna forma con la tierra física. En este caso están incluidos los aparatos tales como calentadores, radiadores, tubería o bien estructura metálica del edificio. En el diseño de equipo eléctrico, se debe tener mucho cuidado para proteger al personal de tocar accidentalmente el conductor vivo, ya que con el desgaste de materiales aislantes o una mala separación de los conductores puede producir un accidente. De todas formas puede existir el contacto por el uso prolongado, por falla de los aislantes, o bien por daño mecánico.

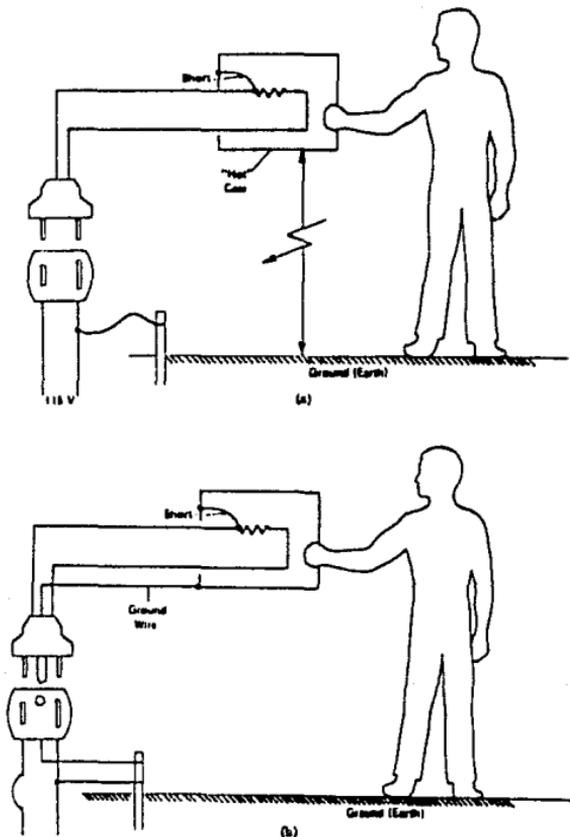


Fig 3.4 Efecto de la conexión a tierra.

Un tipo de accidente como el que se describe en el párrafo anterior se presenta en la figura 3.4(a). En esta, se presenta el caso en que el cable con corriente está en corto con la caja (conductor) del aparato, colocando de esta forma a la caja a un potencial de 115V con respecto a la tierra. Un usuario cuyo cuerpo esté en contacto con la tierra, estará en peligro cuando haga contacto con la caja del equipo en falla. El modelo generalizado de accidente eléctrico mostrado en la figura 3.1(b), permite un análisis más detallado de la situación. El modelo representa una red con una fuente de voltaje y seis resistencias. La resistencia de fuga (falla),  $R_f$ , representa el corto entre el conductor positivo y la caja del equipo. La primera y segunda resistencia de contacto,  $R_{c1}$  y  $R_{c2}$ , representan respectivamente al primero y segundo contacto del cuerpo de la víctima accidentada. Estas resistencias juntas con la del cuerpo  $R_b$  forman la resistencia de camino de la corriente a través del cuerpo. La resistencia de tierra  $R_o$ , (que en la figura es infinitamente grande) está en paralelo con la trayectoria de la corriente en el organismo. La resistencia de regreso de tierra  $R_g$ , es esencialmente la resistencia entre la tierra y la derivación central del transformador mostrado en la figura 3.3. Esta resistencia es normalmente muy pequeña.

Un accidente eléctrico puede ocurrir cuando las seis resistencias mostradas en la figura adquieren cualquier combinación de valores tal que la corriente que circule a través del cuerpo adquiera una magnitud peligrosa. Todas las medidas que se toman para reducir la probabilidad de accidentes eléctricos, son intentos de manipular el valor de una o varias de las resistencias antes citadas.

### 3.1.3.- Métodos para prevenir accidentes.

Para reducir la incidencia en accidentes eléctricos, se han desarrollado diferentes métodos de protección. Algunos de éstos son usados en forma universal, otros son requeridos para áreas que se consideran de especial peligro, y otros métodos se desarrollan especialmente para uso hospitalario.

#### Forma de conectar a tierra

El método de protección utilizado más frecuentemente es la conexión a tierra física o aterrizado. El principio de este método consiste en que la resistencia de tierra,  $R_o$  en la figura 3.1.b, adquiera un valor lo suficientemente pequeño para todos los valores posibles de la resistencia de falla  $R_f$ ; con el propósito de que la mayor parte de la corriente de falla no pase por el cuerpo de la víctima, quedando los niveles de corriente a un valor seguro, aun cuando las resistencias de contacto y la del cuerpo sean muy bajas. La implantación de este método es como lo muestra la figura 3.4(b), en donde la caja metálica (chasis de los contactos) está conectada a tierra por medio de un cable separado. En equipo médico en donde se utiliza un cable para suministro de

energía eléctrica la conexión a tierra se da a través de un tercer contacto en forma de "U" o redonda. Si un corto circuito ocurre en un equipo que tenga la caja metálica conectada a tierra de esta forma, la corriente eléctrica circulará a través de la caja metálica, regresando a la subestación por el cable de tierra. Idealmente el corto circuito provocará una corriente lo suficientemente grande para que un interruptor de corto circuito (circuit breaker) se abra inmediatamente y no permita la circulación de la corriente eléctrica. Esta acción provocará que se corte el suministro de energía al equipo defectuoso limitando el riesgo de accidente.

La protección por conexión a tierra física tiene algunos inconvenientes. Obviamente, esta forma de protección es efectiva mientras que exista un buen contacto a tierra. La experiencia ha mostrado que muchas salidas de corriente, clavijas y cables de conexión convencionales no satisfacen las condiciones para uso en hospitales.

Otra desventaja que presenta este método es que en caso de corto circuito, la protección se activa para desconectar el suministro de energía al dispositivo en falla, abriendo el interruptor de corto circuito (breaker). Sin embargo, tiene la desventaja de que se corta el suministro eléctrico a todos los aparatos que estén conectados en el mismo circuito eléctrico, en donde pueden estar conectados equipos para mantener la vida de algún paciente.

#### Doble aislamiento

El segundo método para la prevención de accidentes es mediante el empleo de equipo de doble aislamiento. La particularidad de este método radica en que el chasis se fabrica de algún material dieléctrico, generalmente de algún plástico. Si existe alguna pieza metálica que sea accesible al usuario, esta se encontrará conectada a la parte conductora del dispositivo por medio de una capa protectora de aislamiento.

La intención de este método es asegurar que la resistencia de falla sea siempre de valor muy alto. Los equipos médicos de doble aislamiento no necesitan ser conectados a tierra, y por lo tanto, la clavija con la que viene provistos no tiene el contacto para la tierra física. Los equipos de este tipo deben ser rotulados claramente "doble aislamiento". Dicho método encuentra poca aplicación para equipos electrónicos que se encuentran en hospitales, a menos de que sean construidos a prueba de líquidos. El doble aislamiento puede perder su utilidad fácilmente si el equipo en cuestión maneja flujos conductores dentro de él mismo como pueden ser soluciones salinas u orina y por lo tanto existe el peligro de choque eléctrico.

#### Protección por bajo voltaje

En el modelo generalizado de accidente de la figura 3.1(b) se asumió que el voltaje era el de la línea (115 o 230V AC); si en su lugar se utiliza otra fuente de voltaje con un valor bajo, la

resistencia del cuerpo  $R_p$  será suficiente para limitar la corriente a un valor seguro, aun cuando la resistencia de falla y la de contacto sean muy bajas. Una forma de lograr esto, es el operar los equipos con baterías. Cuando se opera con baterías (bajo voltaje) existe la ventaja de no requerir la conexión a tierra. Un bajo voltaje también puede ser obtenido por medio de un transformador de reducción de voltaje. Dicho dispositivo además de bajar el voltaje brinda un aislamiento de la fuente con tierra. Donde los requerimientos de potencia son bajos, el transformador se puede hacer parte integral de la línea de suministro, diseño que se utiliza actualmente en equipos médicos como son oftalmoscopios y endoscopios.

### Circuito interruptor por falta de tierra

La evidencia estadística muestra que la mayoría de los accidentes eléctricos ocurren cuando la víctima provee un camino conductivo a tierra como lo muestra la figura 3.4(b). Normalmente toda la corriente que entra al dispositivo por el cable vivo regresa a tierra por el cable neutro. En caso de un accidente de este tipo, se cierra el circuito a tierra a través del cuerpo del paciente. Con este método (circuito interruptor por falta de tierra), la diferencia de potencial convertido en corriente entre el cable vivo y el neutro de la línea de suministro es monitoreado por un transformador diferencial y un amplificador electrónico. Si esta diferencia excede un cierto valor, normalmente de 5mA, el suministro es cortado por un interruptor. Dicha interrupción sucede en una forma tan rápida que aunque circulen corrientes de muy alto valor por el cuerpo, no se presentan daños.

## 3.2.- Normas técnicas para la diálisis peritoneal.

Las normas que se mencionan a continuación se obtuvieron a partir de las normas para equipos de hemodiálisis y diálisis peritoneal elaboradas por el IMSS (Instituto Mexicano del Seguro Social).

### 3.2.1.- Objetivo.

El objetivo de las presentes normas es establecer las especificaciones y los métodos de prueba que deben cumplir los equipos para diálisis peritoneal.

### 3.2.2.- Alarmas y monitores.

Las alarmas y monitores diseñados para la vigilancia del equipo, deben estar colocados de tal forma que todos los controles

e indicadores se puedan ver claramente por pacientes con visión corregida de 20/20 descansando en la cama adyacente o por el personal asistente con visión corregida 20/20 estando a uno o ambos lados. Los incrementos en la escala deben ser suficientes para permitir la resolución de acuerdo a la exactitud recomendada.

### Monitor de temperatura

La temperatura del dializado se debe vigilar con un monitor de línea. Bajo condiciones de operación normal, el sistema debe mantener la temperatura de la solución entre 30.9 y 31.0°C (36 y 37 grados centígrados) al ingresar al organismo. Una condición de alarma debe de avisar en caso de que el dializado sobrepase dicha temperatura.

### 3.2.3.- Requisitos generales de seguridad.

Cada dispositivo debe cumplir con las siguientes características mínimas de seguridad:

- 1.- La alarma audible debe tener un volumen máximo de 70dB a tres metros de distancia y no debe ser desactivada dentro de un tiempo de 180 segundos.
- 2.- Una tierra eléctrica debe ser suministrada cuando sea necesario de acuerdo a las prácticas normales aceptadas.
- 3.- Cuando se usen metales en los aparatos eléctricos, estos junto con los demás componentes deben ser resistentes a la corrosión en concordancia con los procedimientos de aceptación normal.
- 4.- Los componentes eléctricos y circuitos deben estar aislados y separados de los circuitos hidráulicos para evitar cualquier corto circuito.
- 5.- Las fallas eléctricas y electrónicas del sistema deben ser indicados mediante una alarma audible.
- 6.- El diseño del equipo debe permitir la fácil limpieza para minimizar la retención de posibles contaminantes.

### 3.2.4.- Marcado.

En el gabinete del equipo de diálisis peritoneal, debe llevar una placa o etiqueta que no se desprenda fácilmente. Esta debe tener forma clara e indeleble lo siguiente:

- Nombre o razón social del fabricante y/o distribuidor.
- Modelo y número de serie.
- Tensión de alimentación y frecuencia.
- Corriente máxima de operación.
- Potencia de consumo.

### 3.2.5.- Pruebas.

Esta sección define los métodos de prueba por los cuales el cumplimiento con los requisitos de la sección anterior pueden verificarse.

#### Monitor de temperatura

Se deben revisar las alarmas de la temperatura del líquido, excediendo la temperatura fisiológica más alta permitida. Se debe confirmar por inspección, que las alarmas funcionen normalmente.

#### Verificación de los requisitos de seguridad

- 1.- La verificación de estos requisitos pueden determinarse por inspección de la configuración del sistema después de que exista la condición de alarma.
- 2.- El cumplimiento y verificación de estos requisitos se puede determinar por inspección visual.
- 3.- La verificación de este requisito deberá determinarse utilizando un audiómetro. Las medidas de nivel de sonidos se deben de hacer a una distancia de tres metros de frente del equipo. Se deben usar las características de frecuencia de la escala estándar. Las alarmas susceptibles de disminuirles el volumen deben ponerse a funcionar y posteriormente apagarse. Se usará un reloj para verificar que la alarma vuelva a sonar en un intervalo de tiempo no mayor a 180 segundos.
- 4.- Se puede determinar el cumplimiento de este requisito por inspección visual.

#### Eléctricos

La verificación de este requisito se debe hacer por inspección visual.

El equipo debe someterse a los procesos de limpieza, esterilización o desinfección recomendados por el fabricante en el manual de operación. Siguiendo este procedimiento, se deben comprobar las características de funcionamiento del aparato y verificar que todas las piezas no hayan sufrido corrosión como resultado del proceso.

## Bibliografía

- Willis J. Tompkin John G. Webster  
Design of Microcomputer based medical instrumentation  
Ed. Prentice Hall
  
- Leslie Cromwell Fred. J. Weibell Erich A. Pfeiffer  
Biomedical Instrumentation and Measurements  
Ed. Prentice Hall
  
- Normas Técnicas para equipo médico de Diálisis  
Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS)
  
- Enrique Yañez  
Hospitales de Seguridad Social

# CAPITULO 4

## MEDIOS DE ENTRADA Y SALIDA

Actualmente las funciones de medición son, evidentemente indispensables en una diversidad de aplicaciones, utilizando todas ellas diversos dispositivos como medios de entrada-salida tales como transductores, actuadores, interfaces optoelectrónicas, interfaces por radioenlace, teclados, entre otras, así como dispositivos procesadores o acondicionadores y unidades que presentan la información de la manera más conveniente para su observación, análisis, almacenamiento o regulación. Las mediciones se emplean para mejorar el conocimiento del universo que nos rodea, para realizar un análisis que permita tomar decisiones con criterio ingenieril o bien para realizar acciones de control, actuando sobre las variables que se muden o sobre las causas que las producen.

### 4.1.- Sistemas de medición.

Un sistema de medición electrónico consiste de un conjunto de componentes, los cuales se usan para realizar una medición y registrar un resultado. Un sistema de medición electrónico consta generalmente de tres elementos principales: un dispositivo de entrada, un acondicionador de la señal o dispositivo procesador (el cual puede estar conectado en cualquier lugar del circuito de medición) y un dispositivo de salida. En sistemas de medición eléctricos y electrónicos el dispositivo de entrada recibe la variable bajo medición y entrega al acondicionador de señal una forma eléctrica proporcional a ella. En el acondicionador, la señal es amplificada, filtrada o modificada para que sea compatible con el dispositivo de salida. El dispositivo de salida puede ser un simple medidor indicador, un osciloscopio de rayos catódicos (CRO), un registrador de cinta magnética para almacenamiento temporal o permanente de los datos de entrada, o bien, un sistema digital de cómputo para la manipulación de los datos o un proceso de control.

Se entiende por acondicionamiento de una señal a todo el proceso que se lleva a cabo para convertir la señal, en otra compatible con el sistema que la va a procesar.

### 4.2.- Transductores.

La variable de entrada de la mayoría de los sistemas de medición es no eléctrica, por esta razón, para usar los métodos eléctricos de manipulación, medida y control, la variable no eléctrica se debe convertir en una señal eléctrica por medio de un dispositivo llamado transductor.

Los transductores en diferentes maneras han sido definidos como dispositivos capaces de transmutar energía entre dos o más sistemas, estados físicos, sistemas de información o transmisión. Sin embargo, todas estas definiciones son muy burdas para ser empleadas con fines prácticos. Por ejemplo: un árbol de levas de un motor, una válvula de tubería de vapor, una máquina de escribir, un violín o un tostador de pan podrían ser considerados como transductores de acuerdo a estas definiciones.

En 1969 la Sociedad de Instrumentos de America (ISA) publicó su norma S 37.1 denominada "nomenclatura y terminología de los transductores eléctricos", define a un transductor como "el dispositivo que proporciona una salida útil como respuesta de un mesurando específico. Entendiéndose por mesurando la variable física, propiedad o condición que va a ser medida. Una segunda definición establece que la salida es la magnitud eléctrica producida por un transductor, la cual es función del mesurando empleado". Únicamente la última de estas dos definiciones se aplica específicamente a los transductores eléctricos, si no apareciera la palabra eléctrica también sería aplicable dicha definición a transductores de otro tipo de salida.

En la mayoría de los transductores, se presenta la condición de tener al mesurando como el elemento sensible, por lo cual se llega a considerar que un sensor es un transductor. Es conveniente hacer mención que los transductores pueden o no requerir de alguna excitación externa para poder operar.

Debido a que el transductor varía su respuesta al modificarse las condiciones del mesurando, su comportamiento puede ser modelado mediante una relación teórica entre la entrada, que en este caso es el mesurando y la salida; dicha relación se conoce con el nombre de función de transferencia, la cual puede ser representada por una curva teórica, una ecuación determinada, una tabla de valores, etc.

#### 4.2.1.- Clasificación de los transductores.

Esta amplia definición de un transductor incluye por ejemplo, dispositivos que convierten fuerza o desplazamiento mecánico en señales eléctricas. Estos dispositivos forman un grupo importante y muy grande de transductores encontrados comúnmente en el área de instrumentación industrial. Muchos otros parámetros físicos (tales como el calor, intensidad luminosa, humedad) se pueden convertir también en energía eléctrica por medio de los transductores apropiados. Dichos transductores suministran una señal de salida cuando son estimulados por una entrada no mecánica, por ejemplo, un termistor reacciona a las variaciones de temperatura, una fotocelda a los cambios de la intensidad luminosa, un haz electrónico a los efectos de los campos magnéticos, etc. En todos los casos; sin embargo, la salida eléctrica se mide mediante los métodos comunes, dejando la magnitud de la variable de entrada en términos de una medida eléctrica analógica.

Los transductores se pueden clasificar de acuerdo a su aplicación, método de conversión de energía, naturaleza de la señal de salida, etc. Todas estas clasificaciones normalmente terminan en áreas que se superponen. Una clasificación y distinción estricta de los diferentes tipos de transductores es difícil. En la tabla 4.1 se muestra una clasificación de los transductores de acuerdo a los principios eléctricos que involucran. La primera parte de la tabla enumera los transductores que requieren potencia externa. Estos son los transductores pasivos, que producen la variación de algún parámetro eléctrico, tal como la resistencia, capacitancia, etc., la cual se puede medir como una variación de voltaje o corriente. La segunda categoría son los transductores activos, los cuales producen un voltaje o corriente análogica cuando son estimulados por medio de alguna fuente externa de energía. Los transductores activos no requieren potencia externa. Aun cuando es casi imposible clasificar todos los sensores y medidores, los dispositivos enumerados en la tabla siguiente representan una buena muestra de los transductores disponibles en el mercado, con aplicación en sistemas de medición.

Tabla 4.1

#### TRANSDUCTORES PASIVOS

##### RESISTIVOS

Dispositivo potenciométrico  
Galga extensiométrica resistiva  
Medidor de hilo caliente  
Termómetro de resistencia  
Termistor  
Higrómetro resistivo  
Celda fotoconductoras

##### CAPACITIVOS

Galga de presión de capacitancia variable  
Microfono de condensador  
Galga dieléctrica

##### INDUCTIVOS

Transductor de circuito magnético  
Detector de reluctancia  
Transformador diferencial  
Galga de corrientes inducidas  
Galga magnetométrica

##### VOLTAJE Y CORRIENTE

Detector por efecto Hall  
Cámara de ionización  
Celda fotoemisiva  
Tubo fotomultiplicador

Tabla 4.1 (Cont.)

#### TRANSDUCTORES ACTIVOS

Termocupla y termopila  
Generador de bobina móvil  
Detector piezo eléctrico  
Celda fotovoltaica

#### 4.2.2.- Selección de un transductor.

La selección del transductor apropiado es por consiguiente el primero y tal vez el paso más importante en la obtención de resultados exactos. Cuando se va a seleccionar un transductor se deben considerar todos los elementos posibles, que en un momento dado pueden influir en las características que debe tener dicho transductor para el uso que se le va a dar.

Hay muchos factores que se pueden tomar en cuenta, pero básicamente se deben considerar los relacionados con la medición que se va a realizar, así como también los que involucren a los sistemas de control que se vayan a emplear, y además los factores que atañen a la disponibilidad de equipos comerciales.

A continuación se proporciona un conjunto de consideraciones que es conveniente tener en cuenta cuando se va a realizar la selección de un transductor, pudiendo decirse que dichas consideraciones forman un criterio general de selección de transductores.

#### Respecto a la medición.

- 1.- ¿Qué variable física es la que se pretende medir?
- 2.- ¿Qué variaciones puede tener el mesurando en el momento de la medición?
- 3.- ¿Cuál es el rango y la exactitud con que se requieren las mediciones?
- 4.- ¿En dónde será instalado el transductor y cuáles son las condiciones ambientales en torno a él?

#### Acerca de la capacidad de los sistemas utilizados.

- 1.- ¿Que sistemas de procesamiento, transmisión y desplegado de datos serán usados?
- 2.- ¿Cuál es la exactitud y respuesta en frecuencia de los sistemas antes mencionados?
- 3.- ¿Que salida del transductor aceptara el sistema de transmisión con un mínimo de acondicionamiento?
- 4.- ¿Que voltaje de excitación es más conveniente para el transductor?

- 5.- ¿Cuál es la carga que el sistema de transmisión o procesamiento le presta al transductor?
- 6.- ¿El sistema de transmisión o procesamiento proporciona suficientes limitantes para cuando se presente un mal funcionamiento del transductor?
- 7.- Si fuera necesario filtrar la señal del transductor, ¿los sistemas de transmisión y procesamiento de datos pueden hacerlo?
- 8.- ¿Que posibilidades se tienen para detectar y compensar errores?

En el diseño de transductores se puede considerar lo siguiente.

- 1.- ¿Cuáles son las limitantes del diseño?
- 2.- ¿Cuál es el máximo error tolerado en una medición?
- 3.- ¿Cuál es la máxima potencia disipada por el transductor?
- 4.- ¿Cuál es el principio de transducción más conveniente?
- 5.- ¿Cuales son los efectos físicos del mesurando sobre el transductor?
- 6.- ¿Cuál es el ciclo de vida mínima del transductor?
- 7.- ¿Cuales son las pruebas con las que se asegurará el funcionamiento de transductor?, ¿que tipos de pruebas son y si están firmemente establecidas?
- 8.- ¿De que manera puede llegar a fallar el transductor?, y si esto pasara ¿qué riesgos habría para los demás componentes u otras porciones del sistema?
- 9.- ¿Cuál es el nivel técnico mínimo del personal que vaya a manejar, instalar y realizar el mantenimiento del transductor?

En cuanto la disponibilidad de los transductores se tiene:

- 1.- El transductor que cumple con nuestras necesidades, ¿está disponible comercialmente?
- 2.- ¿Qué fabricante produce el transductor similar al requerido?
- 3.- ¿Es suficiente alguna modificación en un transductor ya disponible para que cumpla con lo requerido?
- 4.- ¿El costo del transductor es compatible con las necesidades?
- 5.- ¿Cuál es el tiempo que se llevará en entrega, instalación y puesta en operación el transductor?

#### 4.2.3.- Errores más comunes que se presentan en los transductores.

Los transductores pueden ser modelados mediante una función de transferencia ideal, la cual indica la salida correspondiente a una entrada, sin embargo, los transductores reales que existen en el mercado, debido a una gran variedad de factores, se comportan de una forma no ideal. Estos factores incluyen las variaciones que ocurren en la producción, así como el empleo de materiales no

lineales, métodos de producción, condiciones ambientales en el lugar de producción y los métodos de prueba y calibración. Hay que reconocer también que intervienen una gran cantidad de factores en el diseño de un transductor comercial y que la tecnología es limitada en relación a la producción de un transductor diseñado para compensar su envejecimiento y las diferentes condiciones del medio en que va a encontrarse durante su operación.

De lo anterior se puede concluir que generalmente en un transductor comercial el valor de la salida difiere del valor teórico esperado, la diferencia algebraica de estos dos valores se conoce con el nombre de error.

Los errores más comunes que se presentan en los transductores, pueden ser agrupados en tres categorías diferentes que son:

- A) Errores estáticos
- B) Errores debidos a la influencia del medio ambiente
- C) Errores debidos a otros factores externos

#### A) Errores estáticos

Esta clase de errores está relacionada unicamente con el comportamiento del transductor permaneciendo constantes las condiciones del medio ambiente, así como las del mesurando o variable física de interés. Su clasificación es la siguiente:

**DESPLAZAMIENTO.** Es el cambio que ocurre en la salida en un periodo de tiempo determinado, mientras permanecen constantes tanto las condiciones del medio ambiente como las de la variable de interés.

**ERRORES DE FRICCIÓN.** Algunos transductores presentan una condición de error dado al deslizamiento por fricción, esto es, alteran su comportamiento por fricciones internas. Se entiende por error de fricción, los máximos de la salida, bajo cualquier valor del mesurando dentro de un rango establecido antes y después de minimizar los efectos de la fricción interna del transductor por compensación (dithering).

**COMPENSACION (DITHERING).** Se conoce como compensación a la aplicación de las mínimas fuerzas intermitentes oscilatorias capaces de minimizar los efectos de la fricción estática interna del transductor.

**HISTERESIS.** Cuando el valor del mesurando dado se obtiene primero a partir de una variación de valores en forma ascendente y después en forma descendente, las lecturas obtenidas de la salida generalmente difieren unas de otras. La máxima diferencia entre

estos valores durante una calibración se conoce como histéresis. La histéresis generalmente se expresa en forma de un porcentaje de la salida de plena escala.

**LINEALIDAD.** En su gran mayoría los transductores más comunes están diseñados para mantener una relación lineal entre la salida y la variable física de interés, ya que esto facilita la manipulación de los datos; por lo tanto, la cercanía de la curva de calibración de un transductor, a una línea recta especificada, se conoce con el nombre de linealidad. La linealidad se expresa como un porcentaje de plena escala, referido a la desviación de alguna medición respecto a su valor en la línea recta especificada.

**LINEALIDAD INDEPENDIENTE.** Se refiere a la linealidad que guardan las salidas obtenidas respecto a la mejor línea recta. Entendiéndose por mejor línea recta aquella que se encuentra exactamente en el centro del área comprendida por dos líneas paralelas que cubren todos los valores de la salida del transductor y se encuentran en la curva de calibración.

**LINEALIDAD DE MINIMOS CUADRADOS.** Este tipo de linealidad es referida a la línea recta en la cual la suma de los cuadrados de los residuos es mínima. El término residuo se refiere a las desviaciones de las lecturas de la salida respecto a los puntos que les correspondería dentro de la línea recta calculada.

**LINEALIDAD CON PENDIENTE TEORICA.** Este tipo de linealidad está referida a la línea recta entre los puntos extremos. Entendiéndose por puntos extremos aquellos en que se establece la curva teórica y en los que no se aplican tolerancias.

**REPETITIVIDAD.** Se entiende por repetitividad de un transductor a la habilidad que posee este, para reproducir el valor de la salida cuando se aplica el mismo valor del mesurando en diferentes ocasiones, bajo las mismas condiciones y en la misma dirección.

**CORRIMIENTO EN LA ESTABILIDAD.** El corrimiento es un cambio en la pendiente de la curva de calibración debido a una variación en la sensibilidad. Entendiéndose por sensibilidad la relación con la que cambia la salida del transductor, respecto a modificaciones en la variable física de interés.

**CORRIMIENTO A CERO.** Se entiende como el cambio en la salida correspondiente a un valor nulo del mesurando, en un periodo de tiempo específico y bajo condiciones controladas.

## B) Errores debidos a la influencia del medio ambiente

Como es fácil de suponer, es de gran importancia tomar en cuenta la influencia que sobre los transductores ejercen las alteraciones del medio ambiente donde se encuentran operando; ya que de no hacerlo así, se puede incurrir en situaciones de error como las que se explican a continuación:

**ERROR DE LA PRESION AMBIENTAL.** Se cuantifica mediante la máxima diferencia que existe entre las salidas de cualquier valor mesurando en un ramo específico, cuando la presión ambiental varía entre los valores específicos.

**ERROR DE COMPORTAMIENTO.** Este error se debe fundamentalmente a la variación en el comportamiento de un transductor dependiendo de su orientación relativa respecto al sentido en el que actúa la fuerza de gravedad sobre éste.

**ERROR DE TEMPERATURA.** Se entiende por error de temperatura la máxima variación entre la salida correspondiente a algún valor del mesurando, en un ramo específico, al variar la temperatura desde condiciones controladas hasta condiciones extremas.

**ERROR DEBIDO AL GRADIENTE DE TEMPERATURA.** La desviación en la salida de un transductor correspondiente a cierto valor del mesurando, cuando es variante la temperatura de este último a una razón dada entre dos magnitudes específicas.

**CORRIMIENTO EN LA SENSIBILIDAD TERMAL.** Como se ha demostrado, existe un corrimiento o alteración en la sensibilidad de un transductor debido al cambio de la temperatura ambiental desde condiciones controladas hasta las extremas, en los límites del rango de temperaturas de operación.

**ERROR DEBIDO A LA VIBRACION.** En los transductores el máximo cambio de la salida correspondiente a cualquier valor del mesurando dentro de un rango específico; cuando son aplicados ciertos niveles de vibración, con una magnitud y un rango de frecuencias predeterminados, en el sentido de los ejes de medición.

## C) Errores debidos a otros factores externos

Por último, los errores que no están relacionados con las condiciones estáticas del transductor ni con las alteraciones del medio ambiente, pueden ser de índole diversa; por lo tanto, sólo se mencionarán algunos de los casos más frecuentes.

**ERROR DE CONDUCCION.** Los errores presentes en los transductores de temperatura son causados por variaciones en la conducción de calor entre el elemento sensor y la montura del transductor.

**MODIFICACION (DRIFT)** Se entiende como un cambio indeseado en la salida del transductor en un lapso determinado, en el cual la modificación no es función del mesurando.

**RUIDO DE SALIDA.** Se denomina ruido de salida a la componente alternante ya sea r.m.s., pico o pico a pico, de un transductor de salida en forma directa, en la ausencia de variaciones del mesurando.

**REGULACION DE SALIDA.** Es un cambio en la salida debido a una modificación en la excitación del transductor.

**ESTABILIDAD.** Se entiende como la habilidad del transductor para mantener sus características de operación semejantes, en un intervalo grande de tiempo.

**ERROR DEBIDO A ESFUERZOS.** Los errores que resulta de la aplicación de esfuerzos en el área en la cual se encuentra montado el transductor.

El error total de la medición en un sistema activado por transductor se puede reducir para que caiga dentro de los rangos requeridos de exactitud por medio de las siguientes técnicas:

- a) Usando un sistema de calibración en el lugar con las correcciones efectuadas al tomar los datos.
- b) Registrando simultáneamente al ambiente y corrigiendo los datos con base en ese registro.
- c) Controlando artificialmente el ambiente para minimizar posibles errores.

Algunos errores son despreciables y se pueden calibrar fuera del sistema. Cuando todo el sistema está calibrado, los datos de calibración se pueden usar para corregir los datos registrados. Los errores ambientales se pueden disminuir corrigiendo los datos si los efectos ambientales se han registrado simultáneamente con los datos actuales. Entonces los datos se corrigen usando las características ambientales conocidas de los transductores. Esta técnica puede suministrar un incremento en la exactitud del sistema.

Otro método para mejorar la exactitud global del sistema es controlar artificialmente el ambiente del transductor. Si el

ambiente del transductor se puede mantener sin cambios, estos errores se reducen a cero. Este tipo de control puede requerir el movimiento físico del transductor a una posición más favorable o suministrarle aislamiento del ambiente por medio de envases a prueba de calor, aislamiento de vibración o medios similares.

#### 4.2.4.- Transductores de temperatura.

Para la medición de temperatura se emplean diversos tipos de transductores los cuales van desde simples diodos hasta termopares y termistores. A continuación se analizan transductores usados en diversas aplicaciones.

##### Termómetros de resistencia

Los detectores resistencia-temperatura o termómetros de resistencia, emplean un elemento sensible de alambre de platino, cobre o níquel extremadamente puros que suministra un valor de resistencia definido para cada temperatura dentro de su rango. La relación entre temperatura y resistencia de conductores en el rango de temperatura cerca de 0°C se puede calcular de la ecuación:

$$R_t = R_{ref}(1 + \alpha \Delta t)$$

donde  $R_t$  = resistencia del conductor a la temperatura  $t$  en °C

$R_{ref}$  = resistencia a la temperatura de referencia, normalmente 0°C.

$\alpha$  = coeficiente de temperatura de la resistencia

$\Delta t$  = diferencia entre la temperatura de referencia y la de operación.

Cas: todos los conductores metálicos tienen un coeficiente de temperatura positivo de resistencia, de tal forma que su resistencia aumenta con el incremento de la temperatura. Algunos materiales, tales como el carbono y el germanio, tienen un coeficiente de temperatura negativo de resistencia lo cual significa que la resistencia decrece con un incremento de la temperatura. Es conveniente un valor alto de  $\alpha$  en los elementos sensores de temperatura de tal forma que opere un cambio sustancial en la resistencia para cambios relativamente pequeños de la temperatura.

La figura 4.21 muestra la variación de la resistencia con la temperatura para varios materiales de uso común. La gráfica muestra que la resistencia del platino y la del cobre aumentan

casi linealmente con el incremento de la temperatura, mientras que la característica para el níquel es definitivamente no lineal.

El elemento sensor de un termómetro de resistencia se selecciona de acuerdo a la aplicación necesaria. La tabla 4.2 resume las características de los tres materiales más usados en este tipo de termómetros.

El alambre de platino se usa para la mayoría del trabajo de laboratorio y para mediciones industriales de alta exactitud. Los de alambre de níquel y de cobre son menos costosos y fáciles de manipular que los elementos con alambre de platino, y se usan a menudo en aplicaciones industriales de bajo rango.

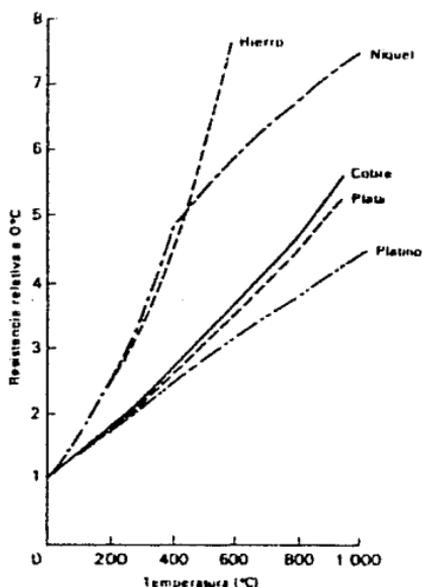


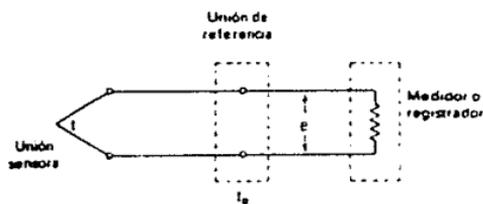
Fig. 4.2.1 Resistencia relativa ( $R_t/R_0$ ) versus temperatura para algunos materiales.

Tabla 4.2 Elementos de los termómetros de resistencia

Tipo	Rango de temperatura	Exactitud	Ventajas	Desventajas
Platino	-300°F a +1500°F	± 1°F	Bajo costo. Alta estabilidad. Amplio rango de operación.	Respuesta es el tiempo relativamente bajo (15 seg). No tan lineal como los termómetros de cobre.
Cobre	+32°F a +250°F	± 0.5°F	Alta linealidad. Alta exactitud en el rango de temperatura ambiente. Alta estabilidad.	Rango de temperatura limitado (a 250°F).
Niquel	+32°F a +150°F	± 0.5°F	Larga vida. Alta sensibilidad. Alta exactitud de temperatura.	No tan lineal que el cobre. Rango de temperatura limitado (a 150°F).

### Termpares

Un termopar (termocupla) consiste de un par de alambres de metales diferentes unidos en un extremo (unión sensora o caliente) y terminados en el otro extremo (unión de referencia o fría), la cual se mantiene a una temperatura constante (temperatura de referencia). Cuando existe una diferencia de temperatura entre la unión sensora y la de referencia, se produce una fuerza electromotriz (fem) que origina una corriente en el circuito. Cuando la unión de referencia se termina en un medidor o instrumento registrador, como se observa en la figura 4.2.2, la indicación del medidor será proporcional a la diferencia de temperaturas entre la unión caliente y la unión de referencia. Este efecto termoeléctrico, originado por los potenciales de contacto en la unión, se conoce como el efecto seebeck.



$$e = At + \frac{1}{2} Bt^2 + \frac{1}{3} Ct^3$$

donde  $t$  = temperatura de la unión sensora

A, B, C = Constantes del material de la termocupla

Fig. 4.2.2 Circuito básico del termopar.

La magnitud de la fem térmica depende del material usado en los alambres y de la diferencia de temperatura entre las uniones. La figura 4.2.3 muestra las fem térmicas para algunos materiales comunes en termopares. Los valores mostrados se basan en una temperatura de referencia de 0°C.

Para asegurar una larga vida en su ambiente de operación, el termopar se protege con un tubo o vasija metálica cerrada o abierta en su extremo. Para evitar la contaminación del termopar cuando se usan metales preciosos (platino y sus aleaciones) el tubo protector es inerte químicamente y sellado al vacío. Puesto que el termopar normalmente está en una localización remota del instrumento de medición, las conexiones se hacen por medio de alambres de extensión especiales llamados hilos de compensación. La máxima exactitud en la medición se asegura cuando los hilos o alambres de compensación son del mismo material que los alambres del termopar.

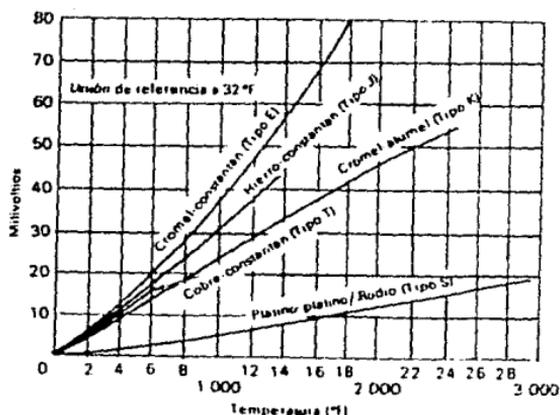


Fig. 4.2.3 Voltaje de salida de un termopar como función de la temperatura para varios materiales.

### Características de los termistores

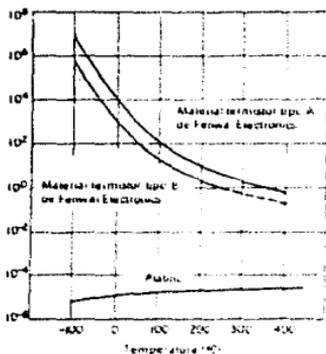
Los termistores, o resistencias térmicas, son dispositivos semiconductoros que se comportan como resistencias con un coeficiente de variación alto con la temperatura y normalmente negativo. En algunos casos, la resistencia de un termistor a la temperatura ambiente puede decrecer tanto como un 6% por cada 1°C de elevación de la temperatura. Esta alta sensibilidad a los cambios de la temperatura hace al termistor extremadamente conveniente para la medición, control y compensación precisa de la temperatura. Los termistores se usan ampliamente en tales aplicaciones especialmente en el rango de bajas temperaturas de -100°C a 300°C.

Los termistores están compuestos de una mezcla sintética de óxidos de metales, tales como manganeso, níquel, cobalto, cobre, hierro y uranio. Su rango de resistencia está entre 0.5Ω y 75Ω y están disponibles en una amplia variedad de formas y tamaños. Los más pequeños en tamaño son las cuentas con un diámetro de 0.15mm a 1.25mm. Las cuentas se pueden colocar en el extremo de un tubo sólido de vidrio para formar puntas de prueba o probetas que son mucho más fáciles de montar que las cuentas. Discos y arandelas se fabrican presionando el material termistor bajo condiciones de alta presión para que queden en forma cilíndrica plana con diámetros desde 2.5mm a 25mm. Las arandelas se pueden apilar y conectar en serie o paralelo para incrementar la disipación de potencia.

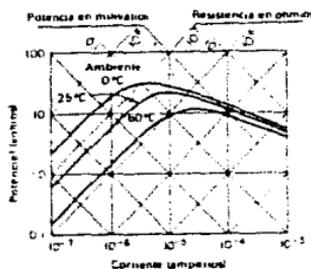
Tres características de los termistores los hacen extremadamente útiles en las aplicaciones de medición y control:

- Característica resistencia-temperatura.
- Característica voltaje-corriente.
- Característica corriente-tiempo.

Ejemplos de estas curvas se muestran en la figura 4.2.4.



(a) Característica resistencia-temperatura



(b) Característica voltaje-corriente

Fig. 4.2.4 Curvas características de los termistores.

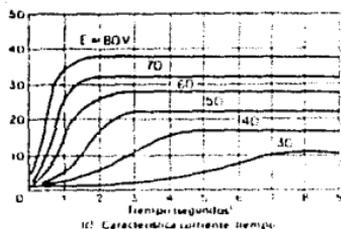


Fig 4.2.4 Cont.

La característica resistencia-temperatura de la figura 4.2.4(a) muestra que el termistor tiene un coeficiente de variación de la resistencia con la temperatura negativo y muy alto, haciéndolo un transductor de temperatura ideal. La variación de la resistencia contra la temperatura de dos materiales industriales se compara a las características del platino (usado ampliamente en los termómetros de resistencia). Entre las temperaturas de  $-100^{\circ}\text{C}$  y  $400^{\circ}\text{C}$ , la resistencia del material termistor tipo A cambia de  $10^7$  a 1 Ohm-cm, mientras que la resistencia de platino varía únicamente en un factor de aproximadamente 10 sobre el mismo rango de temperatura.

La característica voltaje-corriente de la figura 4.2.4(b) muestra que la caída de voltaje a través de un termistor aumenta con el incremento de la corriente hasta que alcanza un valor pico más allá del cual la caída de voltaje decrece con el incremento de la corriente. En esta porción de la curva el termistor exhibe una característica de resistencia negativa. Si se aplica un pequeño voltaje al termistor, la pequeña corriente resultante no produce suficiente calor para elevar la temperatura del termistor por encima de la del ambiente. Bajo estas condiciones, se sigue la ley de Ohm y la corriente es proporcional al voltaje aplicado. Grandes corrientes para grandes voltajes aplicados producen suficiente calor para elevar la temperatura del termistor por encima del ambiente y entonces su resistencia decrece. Como resultado se toma más corriente y la resistencia decrecerá aún más. La corriente se continúa incrementando hasta cuando la disipación de calor del termistor es igual a la potencia suministrada a él. Por consiguiente, bajo condiciones ambientales fijas, la resistencia de un termistor es función de la potencia disipada dentro de él mismo, siempre y cuando haya suficiente potencia disponible para elevar su temperatura sobre la del ambiente. Bajo tales condiciones de operación, la temperatura del termistor se puede elevar  $100^{\circ}\text{C}$  o  $200^{\circ}\text{C}$  y su resistencia puede bajar hasta un milésimo de su valor de baja corriente.

Esta característica de autocalentamiento suministra un nuevo campo de utilización de los termistores. En el estado de autocalentamiento el termistor es sensible a cualquier clase de cambio en proporción a la cual el calor se disipa. Se puede utilizar también para medir flujo, presión, nivel de líquidos, composición de gases, etc. Si la proporción de remoción del calor es fija, el termistor es sensible a la entrada de potencia y se

puede usar para el control de voltaje o nivel de potencia.

La curva característica corriente-tiempo de la figura 4.2.4(c) indica el tiempo de retardo para alcanzar la máxima corriente como una función del voltaje aplicado. Cuando el efecto de autocalentamiento que se acaba de describir ocurre en un termistor, se requiere cierto tiempo para que el termistor se caliente y la corriente alcance su máximo valor de estado estable. Este tiempo, aunque fijo para unos ciertos parámetros del circuito del termistor, se puede variar fácilmente cambiando el voltaje aplicado o la resistencia en serie con el circuito. Este efecto tiempo-corriente suministra un medio simple y exacto de lograr tiempos de retardo desde los milisegundos hasta muchos minutos.

#### Efectos de la temperatura en un diodo

Para describir los efectos de la temperatura en un diodo primeramente se deben mencionar algunos aspectos respecto a su construcción y funcionamiento.

Un diodo se forma al unir dos materiales extrínsecos. Estos materiales son los que comúnmente se conocen como *semiconductores* los cuales pueden ser del tipo Ge (diodo de germanio) o bien del tipo Si (silicio). Generalmente estos *semiconductores* tiene alteradas sus características eléctricas mediante la implantación (contaminación) de ciertos elementos. Así pues, dependiendo del elemento con que se contamina se le da una característica diferente al *semiconductor*. Si el *semiconductor* es silicio y se contamina con elementos pentavalentes (cinco electrones de valencia) se obtiene un material tipo N y si el elemento *semiconductor* es germanio y se contamina con elementos de tres electrones (trivalentes) de valencia se obtiene un elemento tipo P.

Un diodo es la unión de estos dos tipos de materiales obteniendo características peculiares de comportamiento eléctrico. Al polarizar un diodo, como se muestra el la figura 4.2.5, se dice que está polarizado en inversa y su característica principal es la de tratar de evitar la circulación de la corriente eléctrica mediante el aumento de la región de agotamiento.

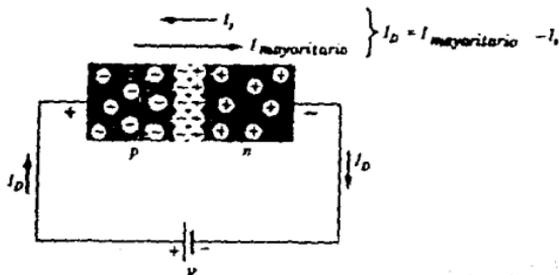


Fig. 4.2.5 Polarización inversa.

La condición de polarización directa se logra mediante la aplicación de un potencial positivo al material tipo P y un potencial negativo al material tipo N tal como se muestra en la figura 4.2.6.

Notese la disminución de la región de agotamiento lo que facilita la circulación de corriente eléctrica en ese sentido. El comportamiento de un diodo se puede apreciar claramente mediante la figura 4.2.7.

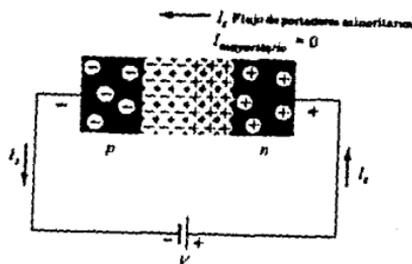


Fig 4.2.6 Polarización directa.

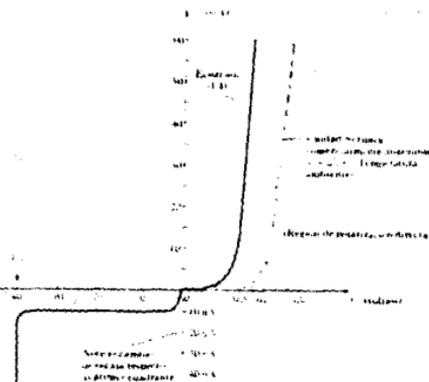


Fig 4.2.7 Comportamiento del diodo.

Si se quisiera demostrar este comportamiento matemáticamente se tendría que recurrir a la física del estado sólido. Para este caso se limitará solo al resultado.

$$I = I_s \left( \exp\left(\frac{V}{V_T}\right) - 1 \right)$$

Donde:

$I_s$  es la corriente inversa de saturación.

$kV = 11000/\eta$ ;  $\eta=1$  para Ge y  $\eta=2$  para Si

$V_T = T_c + 273^\circ$  ( $T_c$  en grados Kelvin).

Note que el aumento de  $V_{st}$  produce un aumento de  $I$  y que la temperatura influye directamente en la conducción.

Si se realiza una curva real se obtiene un comportamiento un poco distinto al dado; esta diferencia se debe principalmente a la resistencia de cuerpo y volumen y en menor grado a la capacitancia del diodo. Ver fig 4.2.8.

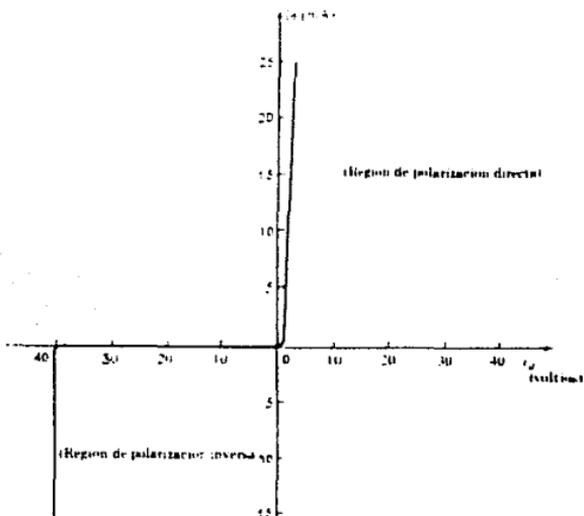


Fig 4.2.8 Grafica de voltaje del diodo vs. corriente del diodo.

La temperatura puede tener un efecto marcado en la corriente del diodo. Esto se demuestra claramente por el factor  $\eta$  de la ecuación. En la región de polarización inversa se ha encontrado experimentalmente que la corriente inversa de saturación casi se duplica en magnitud por cada  $10^\circ\text{C}$  de variación.

Diodo de Si vs. diodo de Ge

Los diodos de silicio en general, tienen especificaciones de

PIV (Voltaje pico de polarización inversa) y corrientes más altas al igual que rangos de temperatura más amplios que los diodos de germanio. Sin embargo, la desventaja del diodo de silicio, cuando se compara con el de germanio, es el mayor voltaje de polarización directa que se requiere para alcanzar la región de movimiento (típicamente de 0.7 volts para diodos de silicio y 0.3 volts para diodos de germanio).

La temperatura afectará virtualmente todas las características de un dispositivo semiconductor. El cambio en las características de un diodo semiconductor debido a variaciones de temperatura por encima y por debajo de la temperatura ambiente (25°C) se muestra a continuación.

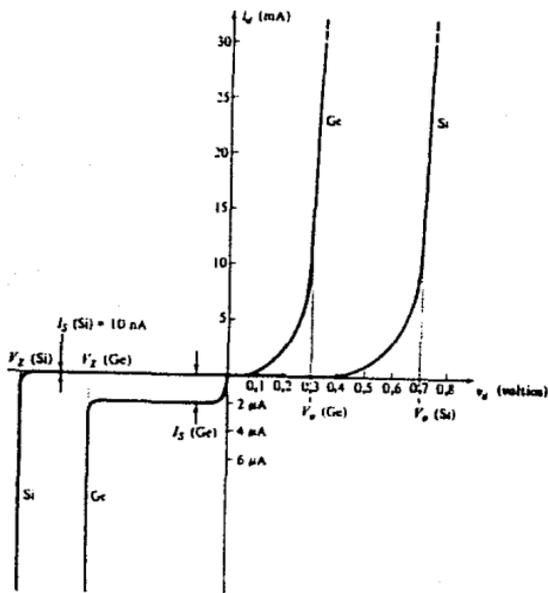


Fig. 4.2.2 Comparación de diodos semiconductores de silicio y de germanio.

#### 4.2.5. - Transductores de desplazamiento.

En los siguientes subtemas se presentan algunas de las características de los transductores de desplazamiento. Los transductores que se mencionan a continuación son del tipo potenciométrico.

## Transductor potenciométrico

Un transductor potenciométrico es un dispositivo electromecánico que contiene un elemento resistivo, el cual está en contacto con un cursor móvil. El movimiento del cursor da como resultado un cambio de la resistencia que puede ser lineal, logarítmico, exponencial, etc., dependiendo de la manera en la cual se devane el alambre de la resistencia. En algunos casos, depósitos de carbono, película de platino u otras técnicas se usan para mejorar al elemento resistivo. Los elementos básicos de este transductor se muestran en la figura 4.2.10.

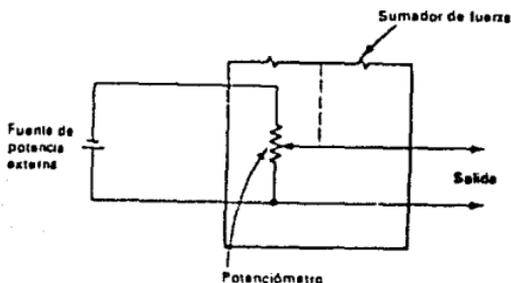


Fig. 4.2.10 Principio de funcionamiento de un transductor potenciométrico.

El principio potenciométrico se usa ampliamente a pesar de sus limitaciones. Su eficiencia eléctrica es muy alta y suministra una salida suficiente que permite operaciones de control sin mayores amplificaciones. El dispositivo se puede excitar por medio de C.A. o C.D. y por tanto tiene un rango amplio de funciones. Debido a la fricción mecánica del cursor contra el elemento resistivo, su vida útil está limitada y puede aparecer ruido térmico (debido a que disminuye su resistencia) al paso del tiempo. A menudo se requieren grandes desplazamientos para mover el cursor a lo largo de toda la resistencia del potenciómetro.

Basicamente, un potenciómetro resistivo consta de un elemento resistivo provisto con un contacto móvil. El movimiento del contacto puede ser de translación, rotación o bien una combinación de ambos (helicoidal), permitiéndose por ende la medición de

desplazamientos rotativos y de translación. Los últimos tienen un movimiento de 0.25 a 50cm, mientras que los rotativos tienen un rango de 10° hasta 60 vueltas completas. Los elementos resistivos pueden ser excitados con voltaje de C.A. o C.D., y el voltaje de salida es una función lineal del desplazamiento de entrada.

Como ya se mencionó, los elementos resistivos de uso común son arrollamiento de alambre, película de carbon o de algún otro material conductor. La figura 4.2.11 muestra algunos de los diferentes tipos de transductores potenciométricos.

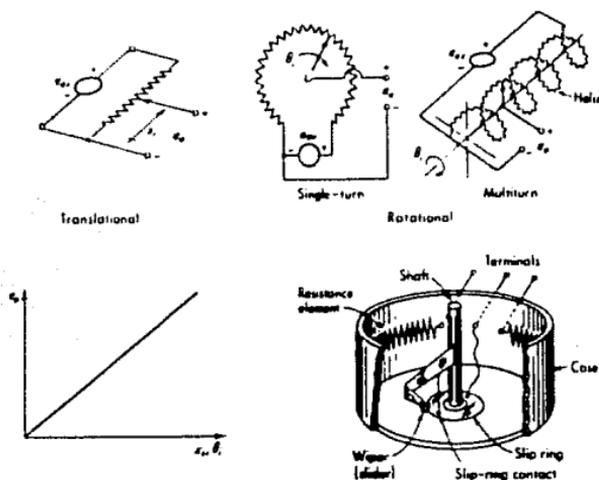


Fig. 4.2.11 Diferentes transductores potenciométricos.

Si la distribución de la resistencia con respecto al movimiento, rotacional o de translación del cursor (contacto móvil) es lineal, el voltaje de salida  $e_o$  es duplicado fielmente por el movimiento  $x_i$  o  $\theta_i$  (dependiendo el tipo de potenciometro), si las terminales de  $e_o$  están en circuito abierto (no se drena corriente a la salida). Sin embargo, la situación común es que el voltaje de salida del potenciometro es la entrada de un medidor o de una grabadora por ejemplo, el cual drena alguna corriente del potenciometro. Un ejemplo de lo anterior se muestra en la figura 4.2.12. Haciendo el análisis de la figura se llega a la siguiente ecuación:

$$\frac{e_o}{e_e} = \frac{1}{1 + (C_x/R_p)(x_i) + C_x/R_n(1 - C_x/x_i)}$$

4.1

donde:

- $e_o$  es el voltaje de salida.
- $e_{ex}$  es el voltaje de excitación del potenciómetro.
- $x_l$  es la distancia total de la resistencia del potenciómetro
- $x$  es la distancia en la cual está variando la resistencia del potenciómetro.
- $R_p$  es la resistencia total del potenciómetro.
- $R_m$  es la resistencia de carga.

La cual para condiciones ideales ( $R_p/R_m=0$  para circuito abierto) es:

$$\frac{e_o}{e_{ex}} = \frac{x_l}{x_l} \quad 4.2$$

Entonces, para cuando no existe carga, la curva de entrada/salida es una línea recta. En la práctica,  $R_m$  es diferente de  $\infty$  y la ecuación 4.1 muestra una relación no lineal entre  $e_o$  y  $x$ . Esta desviación de la linealidad se muestra en la figura 4.2.12. El máximo error es de aproximadamente 12% de la escala completa, si  $R_p/R_m=1.0$  y baja a un 1.5% cuando  $R_p/R_m=0.1$ . Para valores de  $R_p/R_m < 0.1$  la posición de máximo error es en la vecindad de  $x/x_l=0.67$ , y el máximo error es de aproximadamente 15( $R_p/R_m$ ) por ciento de la escala completa.

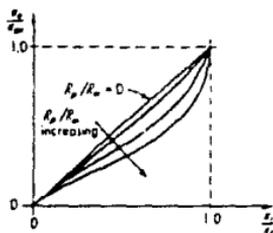
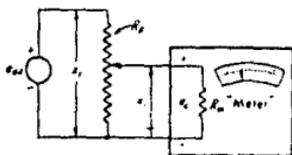


Fig. 4.2.12 Efecto en el potenciómetro con carga.

Por otro lado, para poder obtener una buena linealidad en un medidor con una cierta resistencia  $R_m$ , se debe de escoger un potenciómetro con una resistencia baja comparada con  $R_m$ . Esta

necesidad se interpone con el deseo de una alta sensibilidad. Como  $e$  es directamente proporcional a  $e_{max}$  sería posible obtener cualquier sensibilidad con solo incrementar  $e$ . Pero esto no es el caso porque los potenciómetros tienen una disipación de potencia definida. Esto es, un constructor de potenciómetros puede tener una variedad de valores resistivos en un mismo tipo de potenciómetro, todos con las mismas dimensiones y de construcción similar, por lo tanto tendrán valores de disipación de potencia iguales o muy parecidos. Si la disipación de potencia está limitada a  $P$  watts, entonces, el máximo voltaje de excitación permitido será:

$$e_{max} = \sqrt{PR} \quad (V) \quad 4.3$$

Entonces un valor bajo de  $R$  permite solo un pequeño  $e_{max}$  y, por lo tanto, una baja sensibilidad. Así pues, la selección de  $R$  debe hacerse con un balance de carga y sensibilidad. La máxima sensibilidad que se encuentra en potenciómetros varía considerablemente entre los diferentes tipos existentes y algunas veces con el tamaño. Esta se puede calcular con los datos de voltaje, corriente o potencia y de máximo desplazamiento que se encuentran en las hojas de especificaciones de los fabricantes. Los transductores potenciométricos pequeños generalmente tienen una sensibilidad alta. Valores extremos son de 15 volts para potenciómetros rotativos pequeños y de 120 voltios para los de translación. De otra parte notar que estos son valores extremos y que los valores de uso común son de 10 a 100 veces más pequeños.

La resolución de los potenciómetros se encuentra fuertemente influenciada por la construcción del elemento resistivo. Una solución lógica es usar un alambre sobre el cual se desplace el cursor de tal forma que se tenga una resistencia continua sin saltos durante el movimiento del cursor. Estos potenciómetros se pueden encontrar pero se limitan a valores pequeños de resistencia por la limitante de la longitud del alambre tanto para los de translación como para los de rotación. La resistencia de un alambre puede ser disminuida al hacerlo más delgado pero se pierde resistencia mecánica y por lo tanto las condiciones de uso serán afectadas.

Para obtener altos valores de resistencia en pequeños espacios, la resistencia de enrollamiento es la más utilizada. En esta, el alambre se encuentra enrollado en una tarjeta a la cual posteriormente se le dará una forma circular o helicoidal según sea la necesidad tal como se muestra en la figura 4.2.13.

Con este tipo de construcción, la variación de la resistencia ya no es un cambio lineal continuo, sino que se realiza en una forma escalonada por el paso de una vuelta del alambre a la otra, como se observa en la figura 4.2.14. Este fenómeno es la principal limitación para la resolución en términos del tamaño del alambre resistivo. Por ejemplo, si un dispositivo de translación tiene 500 vueltas de alambre resistivo en una tarjeta de 2.5cm de largo, los movimientos menores de 0.005cm no pueden ser registrados.

El límite actual aceptado para el espaciado del alambre de acuerdo con la práctica es de 200 a 400 vueltas por centímetro. Para dispositivos de translación, la resolución está limitada de 0.0025 a 0.005cm, mientras que para los de tipo rotacional de una vuelta pueden sacrificar el tamaño del diámetro (más grande) para aumentar la resolución angular de acuerdo con la relación:

$$\text{mejor resolución angular} = \frac{0.049 \text{ a } 0.095}{D} \text{ grados}$$

D en centímetros.

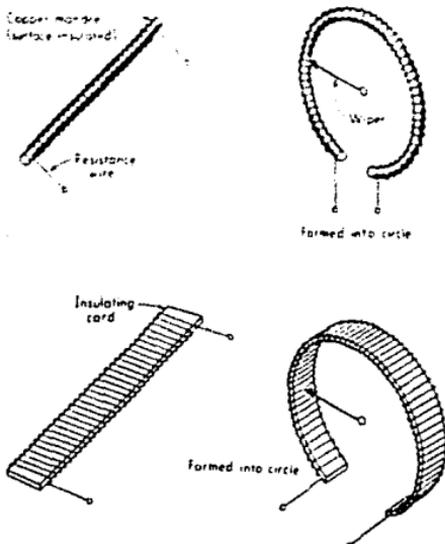


Fig 4.2.13 Construcción de elementos resistivos.

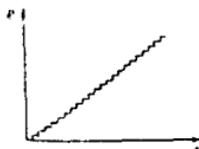


Fig. 4.2.14 Resolución de un potenciómetro de alambre.

Debe hacerse notar que la resolución está íntimamente ligada a la resistencia total debido a que el fino alambre que se requiere para obtener espacios muy cerrados entre las vueltas tiene una resistencia muy alta. Por lo tanto, no se puede escoger el total de resistencia y la resolución independientemente. Si se requiere una resolución muy fina y una resistencia alta, un elemento de película de carbón o de algún material conductor es lo indicado. Los elementos de película de carbón pueden tener una resolución tan buena como de  $12.5 \times 10^{-6}$  cm pero la resolución total del potenciómetro es de alguna forma más pobre por los defectos mecánicos en los rodamientos (bearings) y de los resortes del cursor. Al emplear dispositivos de película de carbón, es importante tener en cuenta que el contacto del cursor tiene una resistencia considerable (los dispositivos de devanado tienen una resistencia de contacto muy baja). Por lo tanto, la cantidad de corriente que se drena del potenciómetro debe de mantenerse baja; de otra manera la caída IR a través del cursor provocará errores en el voltaje de salida.

Otra forma de aumentar la resolución del potenciómetro, involucra el uso de potenciómetros multivuelta. El elemento resistivo está en forma helicoidal y el cursor viaja en punta de tornillo.

La mayoría de los potenciómetros usados para mediciones de movimiento, están fabricados para obtener una respuesta lineal en la función de entrada/salida y se usan tal como se adquieren en el mercado, sin necesidad de calibración. Por lo tanto, una especificación de linealidad es esencialmente equivalente a una de precisión. La linealidad depende en gran parte de la uniformidad del devanado resistivo, pero los errores pueden ser corregidos colocando resistencias en paralelo y/o en serie en localidades adecuadas del devanado. Este procedimiento también puede corregir errores de carga para obtener una relación lineal en potenciómetros que tengan cargas muy grandes. Las mejores no linealidades disponibles comercialmente varían de 1% a rango completo para potenciómetros de una vuelta de 1.25cm de diámetro, a 0.02% para uno multivuelta de 5cm de diámetro hasta 0.002% para uno multivuelta de 25cm de diámetro. Las mejores no linealidades para potenciómetros traslacionales son de 0.05 a 0.1% a rango completo.

Por otro lado, es importante considerar el ruido que puede generarse en estos potenciómetros. El ruido en potenciómetros se refiere a variaciones en la entrada y la salida que ocurren durante el movimiento de deslizamiento del cursor incluyendo los efectos de resolución. Además varios defectos mecánicos y eléctricos producen ruido. En un potenciómetro devanado, el movimiento de deslizamiento del cursor sobre los alambres resistivos puede causar rebotes del contacto a ciertas velocidades causando contacto intermitente.

Este fenómeno se hace particularmente significativo si la velocidad y el espaciamiento entre los alambres son tales para producir frecuencias de resonancia cercanas a la frecuencia de resonancia del contacto de resorte. Algunas veces, los contactos son colocados, como se muestra en la figura 4.2.15, para evitar

que se presente esta situación. Aquí existen dos contactos, cada uno con diferente frecuencia de resonancia de tal forma que si uno está en resonancia el otro continúa haciendo un buen contacto. Otra solución al problema es el de llenar el potenciómetro de algún líquido para limitar la amplitud de resonancia. Esto generalmente aumenta también la resistencia al impacto y a la vibración.

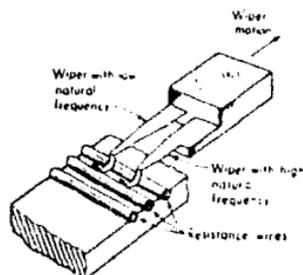


Fig. 4.2.15 Construcción para evitar la vibración.

Otra fuente de ruido se encuentra en suciedad o bien en el desgaste del potenciómetro. De todas formas aun si no existe suciedad o desgaste, la resistencia del contacto varía durante el movimiento, y si está circulando cualquier corriente de carga por dicho contacto, una caída de voltaje  $IR$  aparecerá en la salida.

Las características dinámicas de los potenciómetros (considerando desplazamiento como entrada y voltaje como salida) se deben considerar cuando la impedancia del devanado es casi puramente resistiva a las frecuencias de movimiento para las cuales el dispositivo se pueda utilizar. Por otro lado, la fricción es comúnmente seca, y el fabricante normalmente provee de valores numéricos de la fuerza o torque para vencer la fricción de arranque y de desplazamiento.

Por último, para la selección de un potenciómetro se deben tomar en cuenta varios factores ambientales, como son: altas o bajas temperaturas, vibración, humedad y altitud. Estos pueden actuar como entradas que modifican y/o interfieren seriamente el funcionamiento del instrumento. En condiciones ambientales adecuadas un potenciómetro debe de tener una vida de más de 20 millones de revoluciones o vueltas completas.

#### 4.3.- Actuadores.

En muchas ocasiones, una vez que se procesa la información, es necesario que esta sea enviada a un elemento de control final. Así pues, se define como elemento de control final a aquel mecanismo capaz de alterar el valor de la variable procesada, como respuesta a las señales de salida de un controlador automático, los de un dispositivo de control activado manualmente o bien la manipulación manual directa.

De acuerdo a la definición anterior, se puede considerar que un actuador es un elemento de control final siendo a su vez una especie de transductor. Los actuadores convierten las señales de control desde una forma o nivel de energía en otros diferentes, por ejemplo, de una señal eléctrica se obtiene una acción mecánica la cual es empleada para manipular la variable de interés.

Los sistemas con controles automáticos contienen normalmente dos partes siendo estas, un actuador el cual traduce las señales de salida del dispositivo de control en acciones para manipular grandes fuerzas o bien grandes flujos de potencia y un dispositivo responsable de la fuerza con la cual el actuador puede ajustar el valor de la variable manipulada. Por ejemplo, puede emplearse al actuador para cambiar la posición del vástago de una válvula, o bien para modificar la velocidad de un dispositivo rotatorio, así como para regular el flujo de potencia que puede ser entregado a una carga eléctrica.

Por último, los actuadores así como cualquier otro elemento de control final poseen características dinámicas de retardo así como constantes de tiempo; esto es, los dispositivos no responden instantáneamente a cambios en las señales de control así como perturbaciones en la carga. Los efectos que pueden acarrear dichos retardos, dependen del tipo de proceso en el cual se esté aplicando el dispositivo; en algunos casos se puede alterar mucho el comportamiento del sistema y por lo tanto decaer la productividad. Por otra parte, estos retardos pueden requerir de una mayor intervención del operario aumentando de esta forma los costos y el riesgo de un accidente, por lo tanto, es conveniente tomarlos en cuenta al hacer las consideraciones de diseño.

##### 4.3.1.- Clasificación de los actuadores.

Los actuadores se clasifican en:

- Hidráulicos
- Neumáticos
- Electrohidráulicos
- Electroneumáticos
- Mecánicos
- Eléctricos.

#### 4.3.2.- Actuadores eléctricos.

Un actuador eléctrico es un dispositivo que es excitado por una fuente de energía eléctrica, siendo accionado por un sistema de control eléctrico.

Los actuadores eléctricos son frecuentemente usados para posicionar válvulas de varios tipos, pero también pueden ser utilizados para controlar otros dispositivos, como reostatos, interruptores, quemadores, autotransformadores para la regulación de velocidad de motores, etc.

La complejidad de las instalaciones modernas así como el constante aumento en el monitoreo de procesos, hacen indispensable el empleo de elementos de maniobra que realicen las operaciones programadas por el algoritmo de control. Entre las unidades dentro de un proceso que más requieren una secuencia de maniobra temporalmente correcta, se encuentran las válvulas, así como los relevadores. Resulta ilusorio pensar que un grupo de operarios suficientemente entrenados podrían verificar, en el mismo tiempo y con la misma exactitud, todo el conjunto de maniobras que efectúan automáticamente los actuadores eléctricos cuando cambian las condiciones de funcionamiento. Bastaría con un error o incluso un simple retraso por parte de un sólo operario para que el sistema entero corriera el riesgo de presentar la condición de falla.

Por otra parte, el empleo de actuadores eléctricos facilita la integración de los elementos de control y señalización en un panel centralizado, lo cual visualiza el conocimiento del estado actual del sistema y simplifica la toma de decisiones para un buen manejo, aún en el caso de no instalar un controlador programable del proceso. Por último, un actuador eléctrico ha de ser concebido para realizar las funciones que efectuaría la mano del hombre y además, ofrecer diferentes opciones en cuanto al comportamiento del sistema, tales como mayor rapidez en su respuesta y una mejor precisión en su operación.

#### Clasificación de principios de operación de actuadores eléctricos

Los actuadores eléctricos son por sus características propias, los más adecuados cuando se va a utilizar un sistema eléctrico de control además de ser éstos los más utilizados por su versatilidad en control industrial.

Los actuadores eléctricos se clasifican en dos categorías:

##### 1.- Actuadores de dos posiciones:

- a) Solenoide (válvulas solenoides)
- b) Relevador

## 2. - Actuadores de varias posiciones:

- c) Motor eléctrico reversible
- d) Motor eléctrico de velocidad variable
- e) Tiristores

### Principios de funcionamiento actuadores comerciales

A continuación se explican los principios básicos de operación de cada uno de los actuadores antes mencionados.

#### SOLENOIDE

Un solenoide es un dispositivo que está formado esencialmente por un circuito magnético que consta de un devanado y una armadura tal como se muestra en la figura 4.3.1. Cuando una corriente eléctrica es suministrada al devanado, se produce un campo magnético, el cual hace que la armadura se mueva a la posición energizada; cuando la corriente es retirada, la armadura regresa a la posición de reposo. Los solenoides se emplean principalmente para controlar válvulas de dos posiciones, teniendo actuadores llamados válvulas solenoides, debido a que el solenoide y la válvula forman una sola unidad.

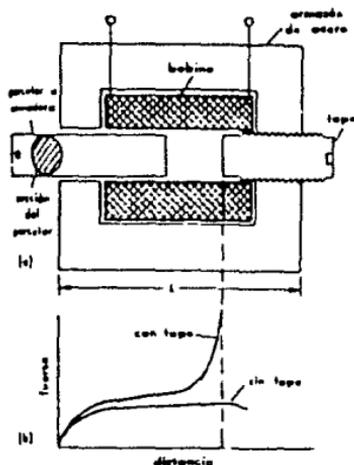


Fig. 4.3.1 Solenoide con armadura de acero y tope. (a) Sección transversal. (b) Relación entre la fuerza de atracción y el desplazamiento de la armadura.

## RELEVADOR

Un relevador eléctrico es un interruptor que opera por medios electromagnéticos. La construcción básica de un relevador se muestra en la figura 4.3.2.

Un circuito magnético M contiene una parte móvil llamada armadura (1), y una parte fija denominada yugo (6), ambos están contruidos con algún material ferromagnético. La mayoría de las veces la armadura se mantiene separada del yugo mediante un muelle o resorte (2), formándose un entrehierro (3), en el circuito magnético. En la parte fija del circuito se coloca uno o más devanados (4). La armadura se encuentra enlazada a un contacto (7), en el cual se cierra o se abre algún circuito. El principio de operación es el siguiente:

Cuando se aplica un voltaje al devanado, se produce una corriente en este, el cual produce un flujo magnético a través del circuito y del entrehierro, produciéndose una fuerza (proporcional al cuadrado del flujo) la cual hace que la armadura y el yugo tiendan a unirse. Si se aplica una corriente que incremente el flujo de tal manera que la fuerza que se presenta sea suficiente para vencer la tensión del resorte de la armadura y con esto cerrar completamente el circuito magnético, entonces se cerrará el contactor unido a la armadura (1). En alguno de los extremos del circuito ya sea en la armadura o en el yugo, se coloca una terminal de cobre (5), para cerrar de una manera más eficiente dicho circuito magnético.

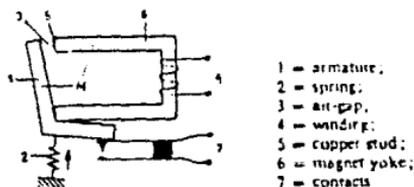


Fig. 4.3.2 Relevador.

## MOTOR ELECTRICO REVERSIBLE

En este tipo de actuador la entrada que se tiene es una señal eléctrica y se obtiene como salida la rotación de una flecha o eje. Un actuador como este, está constituido principalmente por un motor eléctrico, el cual está diseñado para funcionar en ambos sentidos de giro.

Existen diferentes maneras de transformar la rotación de un motor en una actuación lineal, por ejemplo, se puede usar un engrane sinfin, como se muestra en la figura 4.3.3, o utilizar una bomba hidráulica reversible para el caso de un actuador

electrohidráulico. Mediante el empleo de un motor, así como sensores apropiados y otros dispositivos adicionales, se puede tener un actuador con varias posiciones intermedias, además de las de arranque y paro.

Dentro del conjunto de actuadores que basan su operación en motores eléctricos, se pueden considerar los llamados motores de pasos, los cuales son dispositivos electromecánicos que rotan su eje cierto ángulo cuando son energizados.

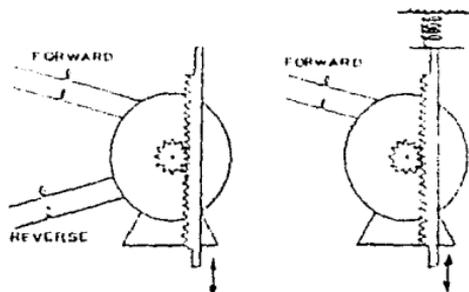


Fig. 4.3.3 Motor eléctrico reversible.

#### MOTOR ELÉCTRICO DE VELOCIDAD VARIABLE

Básicamente un actuador con este tipo de motor tiene características similares a las de un motor reversible, con la diferencia de que a este motor se le puede variar la velocidad, por lo que se utiliza en numerosas aplicaciones en el ramo industrial.

Generalmente los motores de velocidad variable son motores de corriente directa, por lo que es necesario contar con una fuente de este tipo de corriente. Una fuente de corriente directa se puede obtener por medio de un generador de dicha corriente, impulsado por un motor de corriente alterna. También es factible obtener la corriente directa rectificando la alterna de la línea de suministro de energía.

#### TIRISTOR

El rectificador controlado de silicio, es un tiristor que funciona como un interruptor electrónico para potencias elevadas. Está construido básicamente de silicio y se destina al control de corrientes y voltajes. Este dispositivo se utiliza en los casos en que la capacidad de control y la tensión de bloqueo del transistor son insuficientes.

Los SCR's están formados por 4 capas (2p y 2n), alternadas. Su forma externa es similar a la del rectificador de silicio, pero

este tiene tres terminales de conexión. Estas terminales por analogía con la válvula tiratrón, se designan mediante A (Ánodo), K (Cátodo) y St (Electrodo de control o compuerta), como se observa en la figura 4.3.4. Cabe mencionar que otro tipo de tiristor es el TRIAC el cual funciona igual que un SCR con la diferencia que el TRIAC se emplea para controlar corriente alterna.

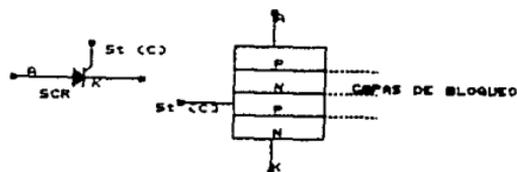


Fig. 4.3.4 Rectificador controlado de silicio (SCR).

El SCR se encuentra bloqueado (en estado de no conducción) mientras la tensión entre ánodo y cátodo sea negativa; cuando dicha tensión toma valores positivos, el dispositivo continúa bloqueado. Cuando la tensión es positiva, si se hace pasar un pulso positivo de corriente entre la compuerta y el cátodo, el tiristor pasa al estado de conducción, circulando la corriente entre el ánodo y el cátodo.

Un tiristor se utiliza ampliamente en la rectificación de corriente alterna, lo cual se logra al aplicar en la compuerta pulsos sucesivos, que hacen que fluya la corriente en un solo sentido. Con el tiristor se pueden controlar grandes potencias con pequeñas corrientes de control. Su acción se produce sin desgastes, permitiendo bastantes maniobras.

Niveles de señal de relevadores, motores de pasos y SCR's.

La finalidad de este subtema es presentar las características físicas de estos actuadores comerciales.

#### RELEVADORES.

Como ya se mencionó, un relevador es un dispositivo operado por una variación de las condiciones de un circuito para hacer funcionar uno o más aparatos en el mismo o en otro circuito eléctrico. En términos generales, un relevador es un interruptor que permite controlar un circuito sin manipular los contactos directos de ese circuito.

Originalmente un relevador era del tipo electromecánico que permitía un contacto o acción mecánica en cierto circuito debido a

cierta corriente eléctrica, estando constituido básicamente por cuatro partes: una bobina de alambre, un núcleo de hierro alrededor del cual está devanada la bobina, una armadura constituida en una pieza de hierro que puede ser atraída por el núcleo cuando circula corriente por la bobina y uno o más juegos de contactos que se mueve uno con respecto del otro cuando circula corriente por la bobina. Ver figura 4.3.5.

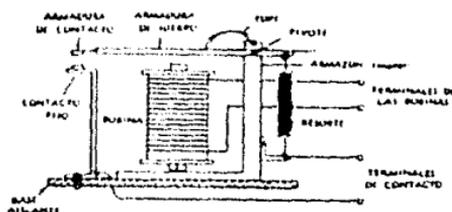


Fig. 4.3.5. Relevador.

Recientemente se ha tenido un gran desarrollo en el área de los relevadores de estado sólido, en los cuales la posición de éstos es proporcional a la corriente de entrada proveniente de algún tipo de controlador primario. Su funcionamiento se basa en un potenciómetro construido dentro del relevador, mediante una leva manipulada por una flecha de salida se produce una señal de realimentación que permite una acción proporcional. Por otra parte, un cambio en la corriente proveniente de la fuente produce un cambio en la posición del relevador para restaurar el balance y represa el proceso bajo control a su punto de calibración.

#### MOTORES DE PASOS

Como ya se expresó anteriormente, un motor de pasos es un dispositivo electromecánico, el cual al ser energizado eléctricamente su eje se mueve una fracción angular denominada paso. Con esta clase de motores se pueden posicionar elementos de control eficientemente y con gran precisión. Los pasos angulares de los motores de pasos comerciales varían desde ángulos tan pequeños como 0.72° hasta ángulos de 90°.

La excitación de un motor de pasos se realiza mediante pulsos de corriente directa, señales de onda cuadrada, o secuencias lógicas, dependiendo de la configuración interna del motor.

#### PRINCIPIOS DE OPERACION DE UN MOTOR DE PASOS

Un motor de pasos típico está constituido en su interior por tres polos que forman un circuito magnético junto con el rotor. Como se observa en la figura 4.3.6, los tres polos del estator

tienen sus extremos dentados; los dientes de cada polo darán el número de pasos que tenga el motor. El rotor también se encuentra dentado y sus dientes varían por las razones mencionadas. En dos de los polos del estator (A y B) se coloca una bobina, con la cual se va a inducir un flujo magnético en el circuito al hacer pasar una corriente por la bobina.

El polo restante (C) sirve para uniformizar el circuito magnético. Al estar el motor en reposo, los dientes de uno de los polos (A o B) se encuentran alineados con el mismo número de dientes del rotor; al energizar la bobina durante un instante, el flujo que se induce tratará de cubrir el circuito completamente, tendiendo a cruzar por los entrehierros de menor longitud. Al llegar el flujo magnético a un entrehierro, se produce una fuerza proporcional al cuadrado del mismo flujo, la cual hace que la distancia del entrehierro se haga más pequeña, y así el flujo atravesará más fácilmente dicho entrehierro.

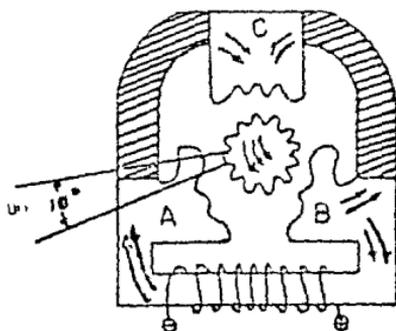


Fig. 4.3.6 Esquema de un motor de pasos.

En el motor de pasos, los entrehierros más cercanos son los formados por los dientes alineados del rotor y el estator, por lo que al producirse la fuerza debida al flujo, esta hace que un diente del rotor se aline y al presentarse un pulso de excitación se tiene un avance de un paso en la flecha del motor.

Para la excitación de un motor de pasos se pueden usar interruptores como relevadores y SCR's, teniendo con estos últimos una fuente de pulsos de alta velocidad.

#### TIRISTORES COMERCIALES

Como se mencionó anteriormente, un SCR es un dispositivo semiconductor de potencia al cual permite la circulación de corriente en un solo sentido, por lo que de una fuente de corriente alterna solo admite la corriente de medio ciclo.

Los transistores se fabrican de diversos tipos, se pueden encontrar para corrientes de 1 a 400 amperes y para tensiones de bloqueo de hasta 1.2 kilovolts.

#### Adecuación de los niveles de señales respecto a sistemas digitales

Mediante el estudio efectuado para los actuadores se pudieron apreciar los diferentes tipos de señales que son requeridos para su control, ya que varían entre corrientes y voltajes de muy distintos niveles. Sin embargo, la característica que presentan siempre en forma común es requerir de señales que varíen en forma análoga al dispositivo que se está controlando. Por otra parte, los sistemas digitales presentan como salidas, patrones numéricos (binarios) de información donde cada elemento del patron se conoce como bit (dígito binario) presentando generalmente dos posibles valores eléctricos que son: 0 y +5 volts de corriente directa. Este tipo de patrones requieren ser convertidos a señales analógicas de voltaje que varíen entre 0 y +5 volts, lo cual se logra mediante un convertidor digital-analógico (D/A) para realizar las acciones de control adecuadas.

Una vez realizada la conversión digital-analógica, el proceso para adecuar las señales provenientes de un sistema digital es similar al seguido en los transductores, ya que de igual manera se efectúan las operaciones de amplificación o atenuación de la señal, así también se presenta la necesidad de aislar al sistema ya sea por métodos optoelectrónicos, magnéticos o ambos.

#### 4.3.3.- Selección de un actuador.

Para seleccionar un actuador que cumpla con todas las especificaciones que se requieren, hay que considerar todo lo que pueda en un momento dado determinar las características de dicho actuador. Para lograr una buena adquisición se pueden seguir muchos criterios, en los cuales es importante tomar en cuenta hasta el más mínimo detalle, sin descuidar por supuesto los aspectos económicos.

A continuación se muestra un criterio que se podría seguir para seleccionar un actuador. Este criterio se basa, al igual que el de los transductores, en tener presentes ciertas cuestiones importantes en la selección de estos componentes.

##### 1.- ¿Dónde se requiere el actuador?

- a) ¿En que proceso se va a utilizar?
- b) ¿Que es lo que va a controlar?
- c) ¿Cuales son las características de lo que se controlara?
- d) ¿Que espacio se tiene disponible para el actuador?
- e) ¿A que distancia estará el actuador del sistema de control?

- f) ¿Cuáles son las condiciones ambientales en que se tendrá el actuador?
- g) ¿Cuál será el régimen de trabajo que deberá soportar el dispositivo?
2. - Con respecto al sistema de control que se tiene:
- a) ¿Qué tipo de sistema se tiene?
- b) ¿Qué salida tiene el sistema para energizar los actuadores?
- c) ¿Se requiere de alguna circuitería externa al sistema para acoplarlo con un actual? ¿Cuál es?
- d) ¿Cuáles son las protecciones que posee el sistema para el caso de alguna falla en el actuador?
- e) ¿De qué manera puede llegar a fallar el sistema.
3. - El actuador:
- a) ¿Qué clase de actuador es el más recomendado para lo que se va a controlar?
- b) ¿Qué características debe tener conforme al proceso que se tiene?
- c) ¿Qué velocidad de respuesta debe tener el actuador para que sea compatible con el proceso?
- d) ¿Qué precisión y error son admisibles?
- e) ¿Cuál es el ciclo de vida que debe tener el actuador para que vaya de acuerdo con el régimen de trabajo que se tiene?
- f) ¿Bajo que condiciones puede llegar a fallar el actuador seleccionado?
- g) ¿Cuál es el mantenimiento que necesita el actuador y con qué frecuencia debe hacerse?
4. - Disponibilidad comercial:
- a) De acuerdo a nuestras necesidades, ¿qué actuadores se encuentran en el mercado?
- b) Las características que nos ofrecen comercialmente ¿son suficientes para cumplir nuestros objetivos?
- c) Si se modifica un actuador disponible ¿cumpliría con nuestras necesidades? ¿Se podrá hacer esta modificación?
- d) ¿Qué fabricante produce el actuador deseado? ¿Es confiable?
- e) ¿Qué servicios y garantías ofrecen los fabricantes?
- f) ¿Podría en algún momento un fabricante construir un actuador a la medida de nuestras necesidades?
5. - Aspectos económicos:
- a) ¿Cuál será el costo de la adquisición, instalación, y puesta en operación del actuador seleccionado?
- b) ¿Es en realidad conveniente utilizar el actuador en el proceso que se tiene?
- c) Si se va a diseñar el actuador ¿cuál será el costo? ¿Está dentro de las posibilidades?
- d) ¿Que es lo que se va a obtener con el uso de este tipo de dispositivos a corto, mediano y largo plazo?

#### 4.4. - Interfaces optoelectrónicas.

Un LED es un componente básico de un dispositivo de interfase importante denominado *acoplador óptico*, conocido también como *optoacoplador*. Los optoacopladores se utilizan para efectuar la interfase de circuitos digitales (como puede ser un microprocesador, con otros dispositivos lógicos que funcionan en circuitos de elevadas tensiones o corrientes, por lo que son eléctricamente incompatibles. Por ejemplo, los circuitos eléctricos de un automóvil actual con 12 volts, en lugar de los 5 volts con que actúan la mayor parte de los circuitos lógicos. Además, las corrientes eléctricas que circulan en ellos son del orden de amperes en lugar de los miliamperes que circulan en los circuitos lógicos mencionados. Algo similar ocurre en aplicaciones domésticas que emplean corriente alterna en lugar de la corriente directa. Un acoplador óptico resuelve el problema de incompatibilidad eléctrica utilizando luz para transmitir la información, entre un circuito digital y un dispositivo de E.S., mientras que sus circuitos eléctricos permanecen desconectados o aislados uno del otro. Un led es la fuente de energía que transmite la información, mientras que un fototransistor (este es, un transistor de conmutación sensible a la luz) o dispositivo similar, se utiliza para recibir la información.

La figura 4.4.1 muestra un acoplador óptico que se usa como interfase entre un circuito digital (microprocesador) y un motor eléctrico que funciona a 12 volts de C.D. y que absorbe una corriente elevada. La señal  $z$  del microprocesador indica si el motor debe conectarse o desconectarse, pero obviamente esta señal no puede conectarse directamente al motor. En su lugar  $z$  se aplica al led del acoplador óptico, por lo que el led convierte en pulsos de luz las señales que aparecen en  $z$ .

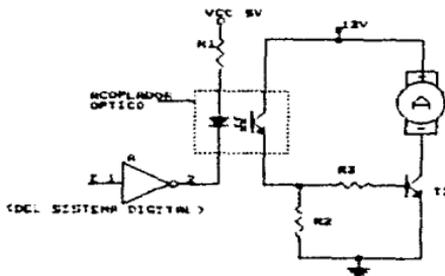


Fig. 4.4.1 Interfase de un motor eléctrico de 12V por medio de un optoacoplador.

Estos pulsos de luz son recibidos por el fototransistor  $T_1$  causando que este conmute de corte a saturación, y  $v_{ce}$  en concordancia con el valor de  $z$ .  $T_1$ , a su vez, excita un

transistor T<sub>2</sub> de potencia que soporta alta corriente y que puede conmutar al motor eléctrico de corte a saturación y vcc. según especifique la señal  $\sigma$  de salida del microprocesador. Se debe observar también que la velocidad de rotación de la mayoría de los motores eléctricos puede controlarse variando la frecuencia de  $\sigma$ , y por tanto T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub> son conmutados a corte y saturación. Así pues, con un programa apropiado el circuito de interfase de la figura anterior se puede utilizar este circuito para controlar la velocidad de un motor eléctrico.

Generalmente un optoacoplador está simplemente en un paquete que contiene tanto un led infrarrojo como un fotodetector tal como un diodo de silicio, un par transistor Darlington, un SCR, etc.. La longitud de onda de respuesta de cada uno de los dispositivos está ajustada para que sea tan idéntica como sea posible y permitir la medida más alta de acoplamiento. En la figura 4.4.2, se proporcionan dos configuraciones de pastilla posibles, junto con la fotografía de cada una de ellas. Hay una capa transparente aislante entre cada conjunto de elementos dentro de una estructura (no visible) para permitir el paso de luz. Estos son diseñados con tiempos de respuesta tan pequeños que pueden ser utilizados para transmitir datos en el rango de los megahertz.

ISO-LIT 1

(Vista superior)

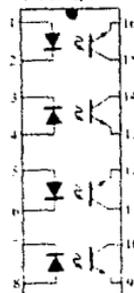


Pata No	Función
1	ánodo
2	cátodo
3	nc
4	emisor
5	colector base

Pastilla LED en la pata 2  
Pastilla FT en la pata 5

ISO-LIT Q1

(Vista superior)



Pata No	Función
1	ánodo
2	cátodo
3	cátodo
4	ánodo
5	ánodo
6	cátodo
7	cátodo
8	ánodo
9	emisor
10	colector
11	colector
12	emisor
13	emisor
14	colector
15	colector
16	emisor

Fig. 4.4.2 Dos optoacopladores Litronix.

En la figura 4.4.3 se muestran las especificaciones máximas y características eléctricas del optoacoplador IL-1. Note que I<sub>CO</sub> se mide en nanoamperes y que la disipación de potencia del led y

del transistor son casi las mismas.

LED de arsenuro de galio (cada canal IL 1)	
Dissipación de potencia 25°C	200 mW
Degradación lineal desde 25°C	2,6 mW/°C
Corriente directa continua	150 mA
Fototransistor detector de silicio (cada canal IL 1)	
Dissipación de potencia 25°C	200 mW
Degradación lineal desde 25°C	2,6 mW/°C
Voltaje de ruptura colector-emisor	30 V
Voltaje de ruptura emisor-colector	7 V
Voltaje de ruptura colector-base	70 V
Paquete IL-1	
Dissipación total del paquete a 25°C ambiente (LED más detector)	250 mW
Degradación linealmente desde 25°C	3,3 mW/°C
Temperatura de almacenamiento	-55°C a +150°C
Temperatura de operación	-55°C a +100°C

(a)

Parámetro	Min	Tip	Max	Unids	Condiciones de prueba
LED de arsenuro de galio					
Voltaje directo	1,3	1,5		V	$I_f = 60 \text{ mA}$
Corriente inversa	0,1	10		$\mu\text{A}$	$V_f = 10 \text{ V}$
Capacidad	100			pf	$V_f = 0$
Detector fototransistor					
$BV_{CE}$	50			V	$I_c = 1 \text{ mA}$
$I_{CE}$	5,0	30		nA	$V_{CE} = 10 \text{ V}, I_b = 0$
Capacidad colector-emisor	2,0			pf	$V_{CE} = 0$
$BV_{EB}$				V	$I_c = 100 \mu\text{A}$
Características acopladas					
Razón de transferencia de corriente cc	0,2	0,35			$I_c = 10 \text{ mA}, V_{CE} = 10 \text{ V}$
Capacidad, entrada a salida		0,5		pf	
Voltaje de ruptura	2500			V	DC
Resistencia, entrada a salida		100		G $\Omega$	
$V_{sat}$			0,5	V	$I_c = 1,6 \text{ mA}, I_b = 16 \text{ mA}$
Retardo de propagación					
$t_{on}$		6,0		$\mu\text{s}$	$R_L = 2 \text{ k}\Omega, V_{CE} = 5 \text{ V}$
$t_{off}$		25		$\mu\text{s}$	$I_c = 16 \text{ mA}$

(b)

Fig. 4.4.3 Características del optoacoplador Litronix IL-1. (a) Especificaciones máximas. (b) Características eléctricas por canal (a 25°C de temperatura ambiente).

Las características típicas optoelectrónicas para cada uno de los canales se proporcionan de las figuras 4.4.4 a 4.4.8. Por otro lado, se puede notar el efecto muy pronunciado de la temperatura en la corriente de salida a temperaturas bajas y la respuesta relativamente buena alrededor o sobre la temperatura ambiente (25°C). No hay que olvidar que se tiene que calcular la menor  $I_{CEO}$  en el receptor para así obtener una menor disipación de calor en el circuito optoacoplador. En la figura 4.4.4 no se

alcanza un  $\mu\text{A}$  hasta que la temperatura se incrementa sobre  $75^\circ\text{C}$ . Las características de transferencia de la figura 4.4.5 compara la corriente de entrada del led (que establece el flujo luminoso) con la corriente de colector resultante del transistor de salida (cuya corriente de base es determinada por el flujo incidente). En realidad, la figura 4.4.6 demuestra que el voltaje  $V_{ce}$  afecta poco la corriente de colector resultante. Es interesante notar en la figura 4.4.7 que el tiempo de conmutación de un optoacoplador decrece cuando la corriente se incrementa, mientras que para muchos dispositivos es exactamente lo contrario. Se considera que el tiempo de conmutación es sólo de  $2\mu\text{s}$  para una corriente de colector de  $5\text{mA}$  y una carga de  $R_L$  de  $100\Omega$ . La salida relativa contra la temperatura aparecen en la figura 4.4.6.

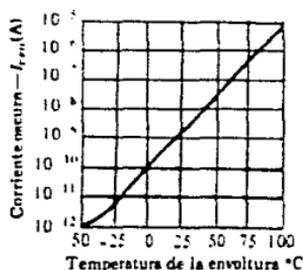


Fig. 4.4.4 Corriente  $I_{cro}$  versus temperatura.

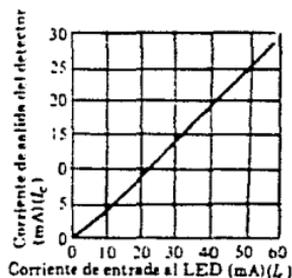


Fig. 4.4.5 Características de de transferencia.

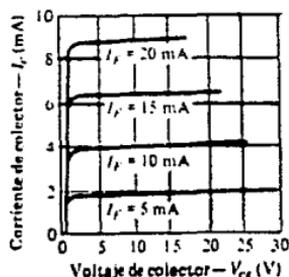


Fig. 4.4.6 Características de salida del detector.

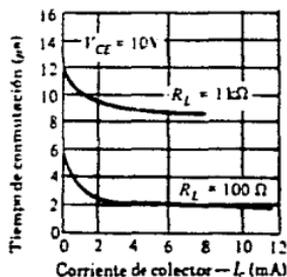


Fig. 4.4.7 Tiempo de conmutación del colector.

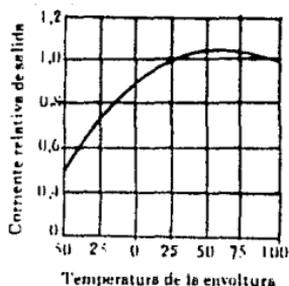
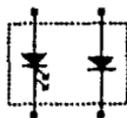


Fig. 4.4.8 Salida relativa versus temperatura.

Por otro lado, la representación esquemática para un acoplador de transistores aparece en la figura 4.4.2, mientras que la representación esquemática para un fotodiodo, un foto darlington y un foto SCR aparece en la figura 4.4.9.



(a)



(b)



(c)

Fig. 4.4.9 Optoacopladores: (a) Fotodiodo; (b) Foto darlington; (c) Foto SCR.

A continuación se muestran otras características para otro tipo de optoacopladores como el 4N35 y el MOC 3010.

Rating	Symbol	Value	Unit
<b>INFRARED EMITTING DIODE MAXIMUM RATINGS</b>			
Reverse Voltage	$V_R$	10	Volts
Forward Current - Continuous	$I_F$	80	mA
Forward Current - Peak	$I_{Fp}$	1.0	Amperes
IF Pulse Width - 300 us, 2.0% Duty Cycle			
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$	$P_T$	150	mW
Regulated Power in Transistor Leads above $25^\circ\text{C}$		1.1	mW/°C
<b>PHOTOTRANSISTOR MAXIMUM RATINGS</b>			
Collector-Emitter Voltage	$V_{CE0}$	30	Volts
Emitter-Collector Voltage	$V_{EC0}$	5.0	Volts
Collector-Base Voltage	$V_{CB0}$	30	Volts
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$	$P_T$	150	mW
Regulated Power in Diode Leads above $25^\circ\text{C}$		1.1	mW/°C
<b>TOTAL DEVICE RATINGS</b>			
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$	$P_T$	250	mW
Equal Power Dissipation in Each Element Leads above $25^\circ\text{C}$		1.1	mW/°C
Operating Junction Temperature Range	$T_J$	$-55^\circ\text{C}$ to $+100^\circ\text{C}$	°C
Storage Temperature Range	$T_{stg}$	$-55^\circ\text{C}$ to $+150^\circ\text{C}$	°C
Soldering Temperature (10 s)		260	°C

Rating	Symbol	Value	Unit
<b>INFRARED EMITTING DIODE MAXIMUM RATINGS</b>			
Reverse Voltage	$V_R$	10	Volts
Forward Current - Continuous	$I_F$	80	mA
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$	$P_T$	100	mW
Regulated Power in Transistor Leads above $25^\circ\text{C}$		1.33	mW/°C
<b>OUTPUT DRIVER MAXIMUM RATINGS</b>			
Output Current Terminal Voltage	$V_{OH/VL}$	250	Volts
On-State RMS Current 10% Duty Cycle, 50 to 60 Hz	$I_{T(RMS)}$	100	mA
Peak Non-Inductive Surge Current 10ms, 10 ms, DC = 10%	$I_{T(SUR)}$	1.2	A
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$	$P_T$	300	mW
Leads above $25^\circ\text{C}$		4.0	mW/°C
<b>TOTAL DEVICE MAXIMUM RATINGS</b>			
Transient Surge Voltage (10 ns) Base-emitter Voltage (10 ns) Base-collector Voltage	$V_{S0}$	750	Volts
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$	$P_T$	330	mW
Leads above $25^\circ\text{C}$		4.4	mW/°C
Ambient Temperature Range	$T_A$	$-40^\circ\text{C}$ to $+100^\circ\text{C}$	°C
Ambient Operating Temperature Range	$T_A$	$-40^\circ\text{C}$ to $+75^\circ\text{C}$	°C
Storage Temperature Range	$T_{stg}$	$-40^\circ\text{C}$ to $+150^\circ\text{C}$	°C
Soldering Temperature (10 s)		260	°C

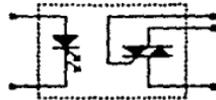
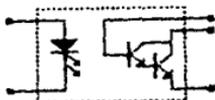


Fig. 4.4.10 Tablas comparativas para los optoacopladores anteriores.

#### 4.5.- Acoplamiento por radioenlace.

Existen ciertos casos en los cuales es deseable mantener un alto grado de aislamiento entre las entradas y salidas de un sistema. Si existe algún factor peligroso de un ambiente a otro, el uso de un dispositivo de aislamiento en la relación entrada-salida se justifica. Los instrumentos biomédicos son un claro ejemplo para el uso de este tipo de aislamiento.

Como se menciona en el capítulo 3, la máxima corriente que el cuerpo humano puede soportar sin causar consecuencias es de 10 microamperes a 60 hertz de C.A.; en ciertos instrumentos y aparatos electrónicos la corriente de fuga puede exceder ese valor de manera que los diseñadores de equipo médico siempre especifican una etapa de entrada de amplificación totalmente aislada.

Para aplicaciones medicas es comun encontrar especificaciones con un grado de aislamiento de  $10^{12} \Omega$  entre las entradas y las terminales de energia en el lado no aislado del circuito. Hoy en dia, al menos tres metodos se usan para lograr el grado de aislamiento:

- 1) Acoplamiento optico (descrito en el inciso anterior).
- 2) Acoplamiento por transformador.
- 3) Acoplamiento por radioenlace.

El acoplamiento por transformador y por radioenlace son tecnicas similares en cuanto a que ambas usan la energia electromagnetica para transmitir la informacion del lado no aislado al lado aislado del circuito, por lo que se puede considerar a esto como transmision por ondas de radio.

Para ilustrar los principios basicos constitutivos en un sistema de radioenlace se describira un sistema muy simple, aunque para la mayoria de las aplicaciones de este tipo de aislamiento se requiere mas circuiteria. Las etapas de un sistema tipico pueden segmentarse por bloques como se muestra en las figuras 4.5.1 y 4.5.2. La primer figura muestra la etapa transmisora mientras que la segunda muestra la receptora.

Las senales fisiologicas son obtenidas de la persona por medio de transductores apropiados. La senal se pasa por una etapa de amplificaci3n y circuitos de proceso que incluyen la generaci3n de una subportadora y una etapa de modulaci3n para transmisi3n.

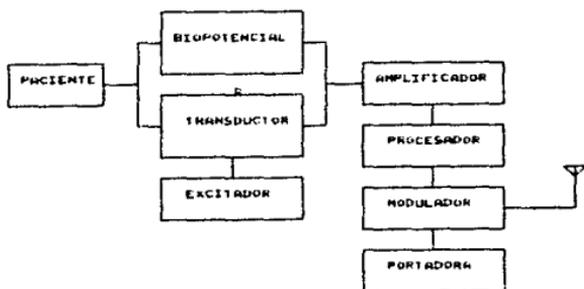


Fig 4.5.1 Diagrama a bloques de un transmisor de biotelemedicina.

El receptor consiste de una etapa de sintonización para seleccionar una frecuencia de transmisión, un demodulador para separar la señal de la portadora y algún medio de procesamiento de la señal. Esta también puede ser almacenada en su estado modulado por medio de una grabadora como se muestra en la figura 4.5.2.

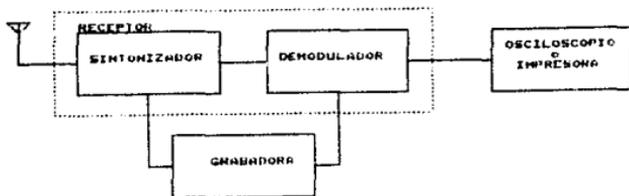


Fig. 4.5.2 Diagrama a bloques de un receptor de biotelemetría.

En este tipo de sistemas, la señal fisiológica se usa para modular una portadora de baja frecuencia llamada subportadora. Esto es con el propósito de que, si se desea enviar más de una señal, cada una de estas sea puesta en una subportadora. La técnica de modulación para la señal puede ser cualquiera de las conocidas comúnmente como AM, FM, PCM, PWM, etc. Por otro lado, en la figura 4.5.3 se muestra el aislamiento por transformador el cual es muy similar al concepto de modular y demodular solo que la señal portadora es generada por un oscilador y es acoplada por medio del transformador al lado aislado del circuito en el cual se tiene la tierra aislada. Los transformadores se pueden diseñar generalmente para atenuar la señal de 60Hz de C.A. por lo que las corrientes de fuga son muy pequeñas.

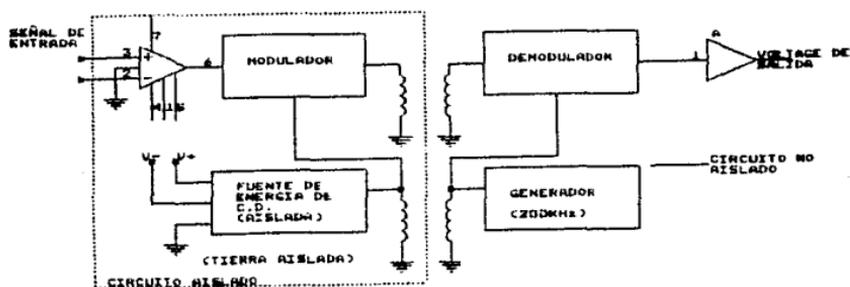


Figura 4.5.3 Aislamiento por transformador.

#### 4.6. - Dispositivos convertidores.

En la mayoría de los sistemas donde se emplean los convertidores, se presenta frecuentemente el hecho de que la información que estos sistemas requieren no está disponible en la forma que estos la manejan, por lo cual es necesario contar con dispositivos que conviertan la información de manera que sea compatible con el sistema que se desea.

Los convertidores de señales analógicas a digitales (ADC) y de señales digitales a analógicas (DAC) aparecen en el momento en que se comienzan a utilizar las computadoras y sistemas digitales en general para procesamiento de información. Por otra parte, casi todos los transductores transforman las variables físicas a señales eléctricas por lo que se requerirá de un convertidor A/D si se desea utilizar un sistema digital para procesar estas señales y, por otro lado se necesitará de un convertidor D/A para manejar la información después del procesamiento.

Cuando se van a utilizar convertidores A/D y D/A se deben considerar las características que estos ofrecen, ya que estas deben de ser compatibles con el proceso que se tenga, así pues, si se utilizara un convertidor A/D demasiado lento en su conversión en un fenómeno que presenta variaciones rápidas, se estaría perdiendo información. Existen algunos parámetros que caracterizan a los convertidores A/D y D/A, por medio de los cuales se puede seleccionar que convertidor es el más apropiado a las necesidades de algún proceso.

Algunos parámetros básicos para los convertidores son:

- Resolución. Número de bits que se manejan.
- Tiempo de asentamiento (settling time). Tiempo en que la salida del convertidor tarda en estabilizarse.
- Tiempo requerido para obtener la palabra digital en el caso de convertidores A/D, y para el caso de los convertidores D/A es el tiempo que se tarda el sistema en codificar la palabra digital.
- No linealidad. Nos da el rango en el cual la respuesta se sale de la linealidad, generalmente este parámetro se proporciona como un porcentaje de la escala completa del dispositivo ( $(\% \times FSF$  (Full Scale Range)).
- Tiempo de apertura. Para los convertidores A/D es el tiempo que tardará el dispositivo en obtener la palabra digital menos el tiempo de muestreo de tener (sample and hold).
- Error de cuantización. Este parámetro es para convertidores A/D, y es el error que se presenta al digitalizar una señal analógica. Al muestrear una señal el valor más pequeño de voltaje muestreado será el nivel de cuantización, a este se le asignará un código digital. Si la señal muestreada presenta variaciones de voltaje más pequeñas que el nivel de cuantización se tendrá un error en la digitalización.

- Número de canales de entrada. Entradas analógicas (para A/D).
- Velocidad de conversión de palabras. En conversión A/D es el número de palabras digitales obtenidas por unidad de tiempo. En convertidores D/A es el número de palabras codificadas por unidad de tiempo.
- Características de entrada y salida. Corrientes, voltajes e impedancias.
- Voltaje de referencia.
- Rangos de temperatura.
- Error por ruido.
- Corrientes de polarización.
- Tiempo de conversión. Tiempo total en el que se lleva a cabo la conversión.
- Tiempo de adquisición. Para convertidores A/D es el tiempo que hay desde que se empieza a muestrear hasta que se estabiliza la salida.
- Error de offset. Es el valor que entrega el convertidor cuando se tienen cero volts.
- Linealidad. Indica que tanta diferencia se presenta en los niveles de voltaje. Idealmente éstos deben ser iguales (para un convertidor A/D).

#### 4.6.1.- Convertidor A/D.

Los convertidores A/D se pueden clasificar bajo diferentes criterios. Uno de ellos es clasificarlos en programables, los cuales realizan su conversión en un número dado de pasos, sucediendo cada uno de estos en intervalos de tiempo dados por un reloj, y en no programables. En los programables se requiere que se lleve a cabo una secuencia de eventos antes que la conversión sea terminada. Otra manera de clasificar a estos sistemas es en cuanto si son de malla abierta o de malla cerrada (retroalimentados). En los convertidores de malla abierta una comparación directa es realizada entre el voltaje de entrada y un voltaje de referencia. El resultado de la comparación es la generación de una palabra digital equivalente a la señal de entrada. En los convertidores de malla cerrada la señal de entrada produce una palabra digital la cual a su vez va a generar un voltaje que se va a comparar con el voltaje de entrada, cuando estos voltajes llegan a ser iguales finaliza el proceso de conversión. Existen varios sistemas de conversión A/D, pero sólo se comentarán los más comunes.

##### Convertidor A/D con contador

Este convertidor es del tipo retroalimentado. La señal de entrada llega al comparador, al igual que otra señal que proviene

de un convertidor D/A. La señal que envía el convertidor D/A es proporcional a una palabra digital que es generada por un contador. El contador se mantiene en funcionamiento hasta que las señales de entrada y la proveniente del convertidor D/A son iguales, y es en ese momento cuando se ha finalizado la conversión. (fig 4.6.1)

#### Contador A/D de aproximaciones sucesivas

Este sistema utiliza un dispositivo programable, el cual envía una palabra digital a un convertidor D/A, la señal que se obtiene de este es comparada con la señal de entrada, si son diferentes, la palabra digital se incrementa en un bit, y se vuelven a comparar las señales sucesivamente hasta que las señales de entrada y la del convertidor D/A sean iguales. (fig 4.6.2)

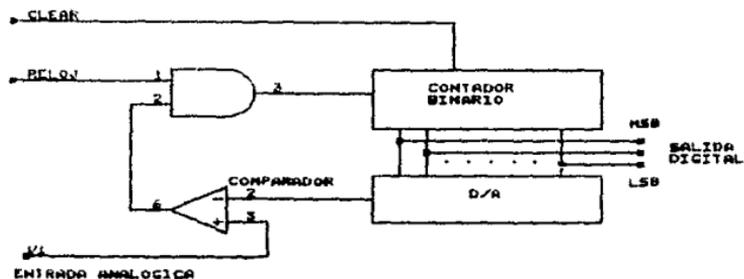


Fig 4.6.1 Convertidor A/D con contador.

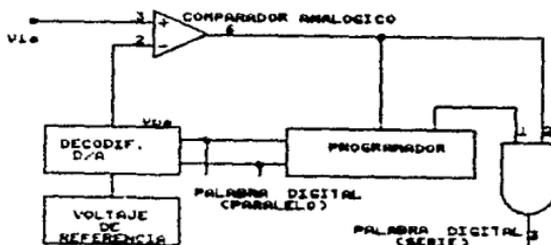


Fig. 4.6.2 Convertidor A/D de aproximaciones sucesivas.

### Convertidor A/D de comparadores en paralelo

Este sistema es el más rápido de todos los convertidores. Está formado por un grupo de comparadores y un codificador. La señal de entrada es alimentada a todos los comparadores. Cada comparador se alimenta con una señal de referencia a través de una red resistiva de tal manera que la señal de referencia para el primer comparador es mayor que la señal para el último comparador. Las señales entregadas por los comparadores se introducen a un codificador, el cual produce la palabra digital. En la figura 4.6.3 se muestra el diagrama de este tipo de convertidor.

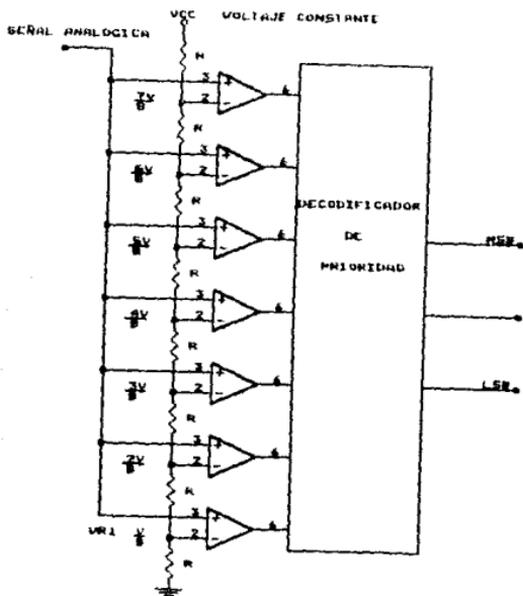


Fig 4.6.3 Convertidor A/D de comparadores en paralelo.

### 4.6.2.- Convertidor D/A.

El proceso utilizado por la mayoría de los convertidores D/A se basa en darle cierto valor a cada uno de los bits, así el bit más significativo (MSB) tendrá el mayor valor y el menos significativo (LSB) el menor. Lo anterior se logra alimentando la palabra digital a una red resistiva, la cual está excitada por un voltaje de referencia. Cada bit se conecta a la red por medio de

interruptores controlados. El voltaje analógico que se obtiene es el resultado de la suma de las tensiones producidas por el valor de cada bit en la red. Una red muy utilizada es la llamada R-2R, la cual está formada por un grupo de resistencias de valor R y 2R formando un arreglo especial. Este sistema de conversión es utilizado en convertidores integrados como el DAC08. En la figura 4.6.4 se muestra el arreglo para este tipo de convertidor.

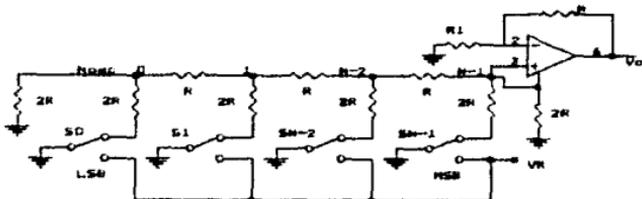


Fig. 4.6.4 Convertidor D/A con red R-2R.

Los convertidores A/D son sistemas más complejos que los D/A ya que tienen que muestrear y mantener la señal analógica por cierto tiempo para poder ser cuantizada y luego codificada, para lo cual se requieren circuitos de muestreo y reten (sample and hold), además de los de cuantización y codificación.

#### 4.6.3.- Características básicas de convertidores comerciales

Existen comercialmente varios tipos de convertidores tanto A/D como D/A los cuales presentan características muy variadas. Se pueden obtener convertidores con resoluciones de 7, 8, 12 bits, etc., con varias entradas analógicas simples o diferenciales (para el caso de los convertidores A/D).

Se encuentran también en el mercado sistemas convertidores que incluyen en un solo dispositivo ambos convertidores A/D y D/A. También hay sistemas de conversión controlados con un microprocesador integrados en un circuito integrado (CI).

Un convertidor A/D muy común es el ADC0808 el cual además de ser comercial tiene la ventaja de ser compatible con microprocesadores como el 8080 de Intel, el 6800 de Motorola o con el Z80 de Zilog (o Mostek). Sus características principales se mencionan a continuación:

Resolución: 8 bits.  
 Precisión:  $\pm 1/2$   
 Tiempo de conversión: 100 $\mu$ s  
 Range de suministro 0 a 5 volts como típico.

Dissipación de potencia: 15mW  
Cuenta con ocho canales analógicos multiplexados.

Uno de los D/A muy utilizado en nuestros días es el DAC08, el cual está disponible en varios modelos. Algunas características de estos dispositivos son las siguientes.

- Resolución: 8 bits
- No linealidad:  $\pm 0.1\%$  FS
- Tiempo de asentamiento: 85ns
- Dissipación de potencia: 33mW
- Monotonicidad: 8 bits
- Rango de suministro: 24.5V a  $\pm 18V$

#### 4.7.- Teclados.

Existe una gran cantidad de aplicaciones para los teclados no sólo en computadoras, sino también en máquinas de escribir, teléfonos, controles a remoto, lavadoras, hornos de microondas, equipo médico, etc. En muchas de estas aplicaciones un microcontrolador, o un controlador de teclado, lee las señales provenientes del teclado y actúa según los datos que se introduzcan, por lo tanto, el diseñador de sistemas con teclados debe tener un buen entendimiento del uso de las técnicas de interfase con base a la programación y al circuito electrónico empleado.

##### 4.7.1.- Tipos de teclados.

Existen comercialmente varios tipos de configuraciones de teclados; sin embargo el más sencillo de ellos, con base en controladores, es aquel en el que cada tecla está asignada a una línea de entrada del puerto de un cierto microprocesador (microcontrolador). Este tipo de configuración presenta la ventaja de poder leer con gran velocidad el teclado; además, la programación de soporte (software) es casi nula. Sin embargo, presenta la desventaja de tener limitado el número de teclas a la cantidad de líneas de entrada del puerto, situación por la que limita su uso exclusivamente a pequeñas aplicaciones.

Un tipo mucho más común y eficiente de teclado es el de arreglo matricial, en el cual las teclas están configuradas por columnas y renglones. Este método permite el uso más eficiente de las líneas de entrada y salida del puerto del microcontrolador, pero requiere de una programación más sofisticada para realizar la búsqueda en la matriz del teclado. Dicha búsqueda se realiza normalmente produciendo un pulso de salida en cada columna y leyendo todos los renglones para determinar cual tecla fue presionada de la columna que produjo el pulso. Para un número dado de líneas de entrada/salida, el número máximo de teclas se da cuando se tiene un arreglo matricial cuadrado; por ejemplo, para ocho líneas de entrada/salida el máximo número de teclas que se

pueden utilizar teniendo un arreglo cuadrado de 8 X 8 es de 64 teclas, mientras que si se hace rectangular, de 4 X 12, sólo se pueden leer un máximo de 48.

Por otro lado, en un teclado se define el "roll-over" como el número de teclas que pueden ser presionadas al mismo tiempo, y que puedan ser reconocidas individualmente. Si por ejemplo, se considera un teclado con  $n$  teclas que todas ellas puedan ser presionadas y, además sea posible reconocer individualmente cada una de ellas, se dice que el teclado tiene un roll-over de  $n$  teclas. Esta es la situación más deseable, pero representa un costo más alto que el de las soluciones matriciales.

En la figura 4.7.1 se muestra un teclado resistivo básico matricial de 4 X 4. En este caso, cada tecla produce una resistencia de contacto de 500, lo que produce un efecto de divisor de voltaje. Se dice que este teclado tiene un roll-over de dos debido a que al presionar tres teclas de las esquinas de un cuadrado o un rectángulo imaginario sobre el teclado al mismo tiempo, aparece reconocida la tecla que está en la cuarta esquina. Por lo tanto, el máximo número de teclas que pueden ser presionadas, sin ocasionar una tecla fantasma (dato de una tecla que no haya sido oprimida), es de dos.

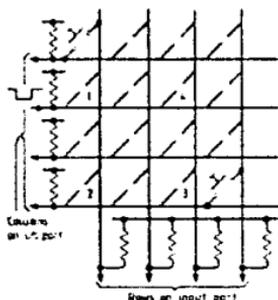


Fig 7.4.1 Teclado matricial básico de 4 X 4 con resistencias de pull-up.

Una forma de poder presionar más teclas al mismo tiempo es el de hacer una matriz rectangular, debido a que se pueden presionar todas las teclas de un mismo renglón a la vez sin producir teclas fantasmas. Una desventaja de esto, es que se requieren más líneas de entrada/salida para el mismo número de teclas, pero para muchas aplicaciones la ventaja justifica el costo de líneas extras.

Otra método para mejorar un teclado matricial básico es tener teclas importantes con línea de entrada exclusiva, como es el caso del shift en los teclados convencionales de computadora. Esto

ofrece la ventaja de tener además de las dos teclas del roll-over, dos teclas más en función especial.

Cabe comentar que el software necesario para el teclado matricial anterior es complejo para asegurar un buen funcionamiento. En lo que respecta a las teclas fantasmas, estas deben de ser detectadas en todo instante, razón por la que se requiere estar cambiando en el puerto de entrada a salida, a fin de poder rastrear la matriz, con el objetivo de evitar una confusión. Dicha confusión es causada por cambiar el pulso de búsqueda con un nivel de "1" lógico que esté siendo conectado por la presión de alguna tecla. Debido a este último punto, se requieren resistencias de pull-up en ambos lados de la matriz con el fin de evitar entradas flotantes (las resistencias de pull-up actúan como limitadoras de corriente).

Quando es detectada por el sistema la presencia de una tecla fantasma, el teclado debe ser bloqueado para evitar que la tecla fantasma sea procesada. Habitualmente en este punto el diseñador tiene dos opciones para dar tiempo de procesar nuevamente la información. La primera consiste en esperar que la tecla fantasma desaparezca, lo que puede ocasionar que se pierda información durante el tiempo de espera. La segunda opción consiste en rastrear la información en un banco de memoria hasta que todas las teclas dejen de ser presionadas y generar, opcionalmente, un tono de advertencia de que la información está siendo retrasada.

#### 4.7.2.- Roll-over de orden n.

En lo que respecta a los teclados de roll-over de orden n, éstos son empleados en aplicaciones de mayor calidad y también en casos donde son requeridas gran cantidad de entradas de teclas multifunción. Existen dos formas comunes de lograr el roll-over de orden n, pero las dos son más caras de realizar que la matriz básica.

El primer método consiste en colocar diodos a una matriz básica como se muestra en la figura 4.7.2. Este método evita que las teclas interfirieran entre sí, provocando un roll-over de orden n. Conviene comentar que la caída de voltaje en los diodos es un factor restrictivo importante de diseño, puesto que al diseñar una matriz de este tipo se puede violar el umbral de voltaje de entrada del controlador del puerto. Una caída excesiva de voltaje se puede evitar eligiendo correctamente las resistencias de pull-up, pero cuando se trabaja con bajos voltajes la solución puede no ser tan sencilla.

El segundo método para lograr una matriz de roll-over de orden n es implantando un teclado capacitivo como se muestra en la figura 4.7.3. Esta configuración logra el roll-over de orden n evitando el costo de los diodos del método anterior, pero implica un costo extra de comparadores. Cada tecla forma las placas de un capacitor, por lo que la capacitancia aumenta al acercar las placas de la tecla (al oprimir la tecla) y permitiendo que un pulso de bajo voltaje llegue a la entrada del comparador. La

impedancia de las otras líneas de búsqueda y el número de teclas que estén presionadas al mismo tiempo afectan el nivel del pulso. Cuando se presenta una tecla fantasma, se tienen tres capacitores en serie, lo que reduce la capacitancia efectiva degradando el pulso de lo que debe ser la cuarta tecla presionada ocasionando que ésta sea ignorada.

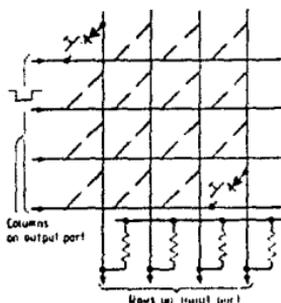


Fig 4.7.2 Teclado matricial de 4 X 4 con diodos.

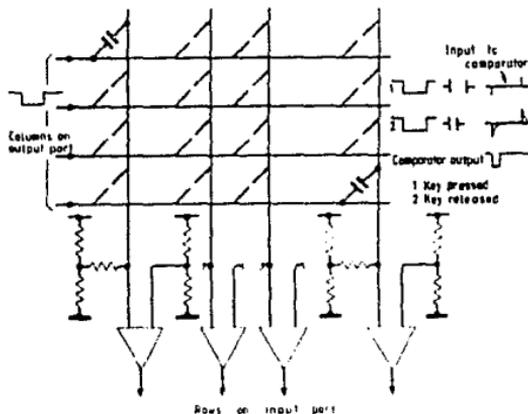


Fig 4.7.3 Teclado matricial de 4 X 4 con comparadores.

Cuando una tecla es presionada, el comparador reestablece la señal diferencial de entrada a un nivel lógico verdadero, produciendo un pulso de salida que es detectado por el controlador. Como este pulso es más pequeño que el pulso de búsqueda, se debe prestar especial atención al programa para no perder ninguna de las teclas por leer demasiado tarde. También se debe de poner especial cuidado en el ajuste de la referencia del comparador de tal forma que la señal de baja amplitud pueda ser detectada confiablemente y las impedancias de polarizado del circuito sean lo suficientemente grandes para que la constante de tiempo sea lo suficientemente larga para producir pulsos de duración aceptable para su detección.

Para estos tipos de matrices de teclas de roll-over de orden n, el programa es más sencillo que en el caso anterior de un roll-over de dos, debido a que las líneas de búsqueda permanecen como salidas todo el tiempo y la detección de teclas fantasmas no es necesaria. Además, se tiene un pequeño ahorro económico al no tener que colocar resistencias de pull-up en la salida de las líneas del puerto búsqueda.

#### 4.7.3.- Rebote de teclas.

Normalmente un teclado debe ser inmune tanto al ruido eléctrico del medio ambiente como al ruido al que pueda producirse por el monitoreo de las señales en un circuito impreso con pistas largas. Cabe comentar que este tipo de impresos pueden producir ruido, así como problemas de cross-talk. Por estas razones, se debe de prestar atención a la disposición del circuito impreso y al programa necesario para evitar el rebote de teclas.

Entre los métodos para evitar los rebotes, el más utilizado es el de leer una columna del teclado, almacenarla en memoria, volver a leer la misma columna después del tiempo que se haya determinado de duración de rebote y compararla con la primera. Si presentan diferencias, entonces se considera que no se ha presionado ninguna tecla. Así toda vez que haya sido presionada verdaderamente una tecla, esta será detectada en monitoreos consecuentes.

Cuando se aplica este método a teclados de gran escala, se presenta el problema de que los tiempos de rebote acumulados pueden llegar a ser tan largos que el tiempo entre monitoreos sea inaceptable. Una forma de evitar este problema es realizando una lectura de toda la matriz en un solo tiempo y almacenarla en memoria RAM, volver a realizar la lectura completa después del tiempo anticipado de rebote y compararla con la almacenada anteriormente. En este método hay que tener en cuenta que, entre más grande sea el teclado, será necesaria más capacidad en memoria RAM y por lo tanto, se obtiene una relación directa entre el tiempo de monitoreo y la Capacidad de memoria RAM; si se desea hacer más lenta se puede particionar el teclado y realizar el monitoreo de la matriz en tiempos sucesivos.

Hasta ahora se ha supuesto que el teclado procesará cualquier tecla que se encuentre presionada, pero en algunos teclados la tecla es procesada hasta que haya cambiado de estado para evitar que sea repetida. Alternativamente algunos protocolos de teclados para computadoras envían un código de interrupción cuando ha sido soltada.

Un buen método de evitar rebotes en teclados grandes es el de llevar un registro de la lectura del teclado actual en memoria (llamada arbitrariamente newbuff) y el de la anterior (oldbuff). En la rutina de monitoreo, la lectura del teclado es almacenado en newbuff; después de un cierto tiempo se realizará una nueva lectura. En el segundo monitoreo, cada columna será leída y comparada con la que haya resultado del primero. Si alguna de las teclas ha cambiado de estado, entonces se considera que han rebotado y el valor anterior de la tecla es extraído de oldbuff y es insertado en newbuff. De esta forma solo los estados de las teclas que sean válidos por dos monitoreos consecutivos son aceptados. Una vez efectuado lo anterior, el programa lee los dos registros comparados para así procesar los cambios de las teclas y actualizar oldbuff, quedando listo para realizar un nuevo monitoreo.

## Bibliografía

### - Transductores

- Harry Norton  
Handbook of Transducers  
Ed. Prentice Hall
- Donald D. Fink  
Electronics Engineers Handbook  
Ed. McGraw Hill
- William David Cooper  
Instrumentación Electrónica y Mediciones  
Ed. Prentice Hall
- Ernest O. Deebelin  
Measurement Systems. Application and Design  
Ed. McGraw Hill
- Robert Boylesta & Louis Nashelsky  
Electrónica Teoría de Circuitos  
Ed. Prentice Hall

### - Actuadores

- Douglas M. Considine  
Process Instruments and Control Handbook  
Ed. McGraw Hill
- Douglas M. Considine  
Encyclopedia of Instrumentation and Control  
Ed. McGraw Hill
- Robert Arnold & Hans Brandt  
Electrónica Industrial  
Ed. Trillas
- Motorola Thyristor Device Data  
Motorola Inc.

- Interfaces optoelectrónicas

- Robert Boylesta & Louis Nashelsky  
Electrónica Teoría de Circuitos  
Ed. Prentice Hall
- John P. Hayes  
Diseño de Sistemas Digitales y Microprocesadores  
Ed. McGraw Hill
- Motorola Optoelectronics Device Data

- Interfaces por radioenlace

- Willis J. Tompkin John G. Webster  
Design of Microcomputer based medical instrumentation  
Ed. Prentice Hall
- Leslie Cromwell Fred J. Weibell Erich A. Pfeiffer  
Biomedical Instrumentation and Measurements  
Ed. Prentice Hall

- Dispositivos convertidores

- William David Cooper  
Instrumentación Electrónica y Mediciones  
Ed. Prentice Hall
- Robert Boylesta & Louis Nashelsky  
Electrónica Teoría de Circuitos  
Ed. Prentice Hall
- Linear Databook  
National Semiconductor 1982

- Teclados

- Jeff Write  
Magazine Electronics & Wireless world  
Artículo Keyboard Design

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

# CAPITULO 5

## SISTEMAS DE CONTROL

Dentro de los procesos industriales existen variables cuya magnitud debe mantenerse cercana a un valor previamente determinado llamado punto de calibración (set point). La función básica de un sistema de control es comparar la señal medida con el valor deseado mediante el punto de calibración y, si existe alguna diferencia entre éstos, se debe actuar sobre el proceso hasta minimizar al máximo dicha diferencia. La función de control se puede implantar en formas muy variadas, tales como acciones mecánicas, neumáticas, hidráulicas, eléctricas y electrónicas (ya sean analógicas o digitales).

En general los sistemas de control se pueden clasificar en dos tipos:

- Sistemas de control de malla abierta
- Sistemas de control de malla cerrada

El primero se refiere a aquél en el cual la información relativa a la variable controlada, no es empleada para ajustar alguna de las entradas con el propósito de compensar las variaciones en las demás variables del proceso. Por otra parte, un sistema de control de malla cerrada implica que la variable controlada es medida y se emplea el resultado de dicha medición para manipular alguna de las variables del proceso. Así pues, en los sistemas de control de malla cerrada, la información que se logra acerca de la variable controlada se realimenta hacia atrás (a la entrada del sistema), con la finalidad de ejecutar la acción de control. Sin embargo, si se pueden medir las fuentes de variación de nuestras condiciones, es posible actuar directamente sobre la variable de control para compensar las posibles diferencias entre el punto de calibración y la variable. A esta clase de acción se le conoce como realimentación hacia adelante.

Los sistemas con realimentación hacia adelante son esencialmente un modelo del proceso, y presentan la ventaja de una mayor rapidez de respuesta respecto a los sistemas con realimentación hacia atrás.

Dentro de los sistemas industriales de control se pueden encontrar una gran variedad de dispositivos que van desde los controladores del tipo ON-OFF (Encendido Apagado), que son los más simples, hasta las complicadas redes de computadoras altamente especializadas en diferentes aspectos de control.

No obstante que sean empleadas diferentes estrategias de control, los sistemas de control normalmente requieren ejecutar diferentes funciones entre las que se encuentran:

- a) La adquisición de datos del proceso.
- b) Dar aviso de alarma bajo condiciones normales.
- c) Indicar y grabar las mediciones del proceso, puntos de calibración y valores de salidas.
- d) Lograr el control de una sola variable, empleando los algoritmos comunes de realimentación hacia atrás.
- e) Realizar acciones de control cuando existen varias variables.
- f) Comunicación de datos a diferentes sistemas de supervisión y procesamiento de la información.

### 5.1.- Sistemas de control eléctricos y electrónicos.

Hacer una clasificación de los sistemas de control de una manera exhaustiva, tomando en cuenta todos los factores que pudieran influir en dicha clasificación, está fuera de los objetivos de este trabajo, por lo que se mencionarán exclusivamente los sistemas de control eléctricos y electrónicos.

Los sistemas de control eléctricos y electrónicos presentan las características más deseables para el control de procesos, algunas de las cuales son su alta velocidad de respuesta, gran precisión, alta sensibilidad y la disponibilidad de la fuente de suministro de energía necesaria. Los controladores eléctricos y electrónicos son muy versátiles y, en la actualidad, muy económicos debido al desarrollo que han tenido en los últimos años, por lo cual su aplicación se ha extendido.

Estos controladores manejan señales de entrada eléctricas, las que provienen de elementos sensores, de donde se acondicionan para que estén de acuerdo a las características del controlador. Las salidas del controlador también son eléctricas, las cuales excitarán actuadores eléctricos, electropneumáticos o electrohidráulicos.

Los controladores eléctricos y electrónicos se pueden clasificar en base a dos aspectos:

- 1.- Por el tipo de controlador
  - a) Función propia (Self-Operated)
  - b) Electrónico
- 2.- Por el modo de control
  - a) Dos posiciones
  - b) Dos posiciones. Tiempo proporcional
  - c) Tres posiciones
  - d) Proporcional (P)
  - e) Proporcional-derivativo (PD)
  - f) Proporcional-derivativo-integral (PID)

Cabe mencionar que en este último inciso, el modo de control se refiere tanto para controles analógicos como para digitales ya que estos últimos se pueden emular mediante un algoritmo de control digital. A continuación se expondrán algunas ideas de los controladores mencionados en el primer inciso de la clasificación.

#### Controlador de funcionamiento propio

Esta clase de dispositivos obtienen la energía que necesitan para la operación del elemento final de control, así como la de sus detector de error del mismo proceso que está regulando. Lo anterior se logra mediante el uso de un elemento sensor como un diafragma, fuelle, flotador, etc.

#### Controlado electrónico

El gran desarrollo que han tenido los sistemas electrónicos digitales en las últimas décadas los han llevado a ser los sistemas de mayor empleo. Con esta clase de sistemas se pueden implantar algoritmos de control muy sofisticados.

#### 5.1.2.- Tipos de sistemas de control electrónico.

Una de las ventajas que presentan los sistemas de control electrónico sobre otros tipos de sistemas son: una mayor disponibilidad, servicio de mantenimiento fácil, menor tamaño físico, etc. Otra de las razones por la cual han tenido tanto auge estos controles es debido a que los puntos de calibración muestran corrimientos menores.

En general, los sistemas electrónicos pueden ser agrupados en dos grandes categorías:

Controles continuos (analógicos)

Controles discretos (digitales)

En la mayoría de los casos, los controles continuos se ha desarrollado fundamentalmente para cubrir las necesidades de las industrias de proceso y transformación, mientras que los controles discretos se han desarrollado para cubrir las necesidades de manufactura. Se entiende por sistema continuo aquel en el cual todas sus señales esenciales son por naturaleza continuas en el tiempo. En forma variable se relacionan la entrada y la salida del sistema mediante expresiones algebraicas, generalmente del tipo diferencial, lo cual da la pauta para clasificar a este tipo de sistemas como controles analógicos. Por otra parte, un control discreto se define como un sistema en el cual todas sus señales esenciales son, por naturaleza discretas en el tiempo, lo cual representa un proceso dinámico en el que la información se encuentra presente como una secuencia de datos discretos, para ser

operada y generada otra secuencia numerica de datos como salida. A este tipo de sistemas se les conoce como sistemas digitales de control.

Los sistemas de control continuo o analogicos pueden realizar funciones tales como el control de flujo, temperatura, presión, etc.. Este tipo de controles de alguna forma deben de manipular las variables del proceso para mantenerlas dentro de un rango predeterminado. Dentro de esta clase, la acción de control más completa la lleva a cabo la malla denominada PID (proporcional-integral-derivativo) mediante modelos discretos o continuos.

Por otra parte, los controles discretos o digitales se emplean ampliamente en el control de procesos industriales. Una de las principales funciones que realizan este tipo de dispositivos fue la adquisición de datos. En esta clase de aplicaciones se capturan los datos directamente del proceso para ser posteriormente analizados, tabulados y sacados, ya sea bajo una solicitud específica o en forma de reporte periódico al operador del sistema.

Posteriormente, los sistemas digitales tuvieron una aplicación más sofisticada consistente en una acción supervisora, en la cual los datos del proceso son empleados para realizar y optimizar los cálculos de las expresiones del algoritmo de control. Estos cálculos proveen los puntos de calibración adecuados para los controladores analogicos que son los que realizan la primera intervención de control dentro del proceso.

Por último, el uso más poderoso que presenta este tipo de sistemas es el control digital directo (DDC). En este caso, el sistema digital de control captura los datos directamente del proceso empleando dicha información para resolver ecuaciones que son equivalentes a las funciones analogicas de control; una vez realizada esta actividad, el sistema ajusta los actuadores para efectuar un control regulatorio apropiado. Los puntos de calibración de este tipo de mallas pueden además ser suministrados ya sea por el operario o bien por el mismo sistema al realizar una acción supervisora. Las ventajas que presentan los DDC sobre los controles analogicos reside en la flexibilidad que existe para implantar algoritmos de control más sofisticados que simplemente el PID. Una desventaja importante en los sistemas DDC es en condiciones de falla ya que cuando esta se presenta todas las mallas de control se ven afectadas, al contrario de los sistemas analogicos donde una malla no afecta a todas las mallas del proceso. Por esta razón, los sistemas de control digital generalmente cuentan con un respaldo analogico para los puntos más criticos del proceso bajo control.

A continuación se presenta una tabla comparativa de las ventajas entre un control analogico y un digital.

Ventajas de los sistemas analogicos	Ventajas de los sistemas digitales
- Menores costos para sistemas pequeños.	- Menores costos para sistemas grandes.

Cont.

- Mayor flexibilidad en sistemas pequeños.
- Se emplean técnicas más familiares para el personal de planta.
- Procedimientos más familiares para la solución de problemas.
- Menor complejidad en la conexión de instrumental analógico.
- Mayor flexibilidad en sistemas grandes.
- Se emplean técnicas más familiares para ingenieros de proceso.
- Mayor precisión computacional disponible.
- Menores costos de expansión.

## 5.2.- Clasificación y características de sistemas digitales.

Los sistemas digitales pueden realizar diferentes acciones de control dependiendo de su complejidad; sin embargo, si se toma en cuenta el tipo de funciones que ejecutan, se pueden clasificar en dos grandes categorías que son:

- Sistemas de control regulador
- Sistemas de control supervisor

La relación que guardan estos sistemas entre sí, así como con el proceso a controlar mediante la intervención de dispositivos de medición (transductores) y actuadores, se muestra en la figura 5.1.

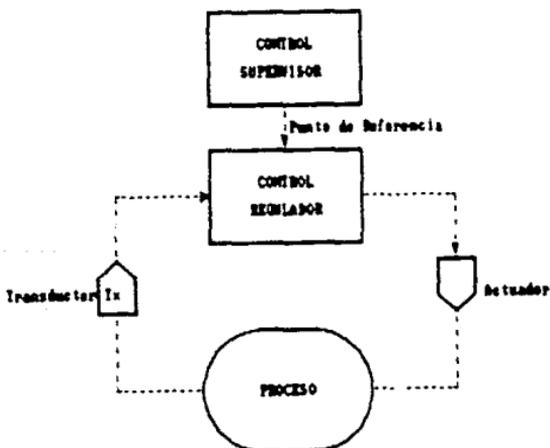


Fig 5.1 Relación entre el proceso y el control supervisor.

A continuación se explican con un poco más de detalle las características más elementales que presentan cada uno de estos sistemas.

### 5.2.1.- Sistemas de control regulador.

Este tipo de sistemas conocidos también como controladores reguladores aceptan ya sea una o varias señales provenientes de uno o varios sensores con el fin de determinar los ajustes a realizar, si es que hay que ejecutar alguno, para mantener los valores del proceso en un entorno cercano a los puntos de calibración previamente determinados. Esencialmente el propósito de este tipo de controladores es mantener el proceso dentro de los límites especificados de operación. Las características que se encuentran en estos sistemas son:

- Requiere gran número de entradas
- Muestreo rápido de dichas entradas
- Computación relativamente veloz
- Se requiere un gran número de salidas
- Equipo de respaldo para fallas

Se puede considerar que caben dentro de esta categoría los sistemas digitales de control directo (DDC) antes mencionados.

### 5.2.2.- Sistemas de control supervisor.

El propósito fundamental de los sistemas de control supervisores es determinar las condiciones óptimas de operación del proceso en un instante dado. Por otra parte, como ya se mencionó, se puede considerar que estos sistemas generalmente son los responsables del procesamiento numérico de la información de acuerdo al algoritmo de control que se este aplicando, con el fin de obtener el mejor proceso posible. Entre las características que presentan este tipos de sistemas se encuentran:

- Requiere un menor número de entradas respecto a los controladores reguladores
- Menor equipo de respaldo
- Computación relativamente lenta
- Muestreo relativamente lento

Al analizar las características es fácil suponer que estos controladores permiten la existencia de jerarquías dentro de los sistemas de control, ya que se puede considerar que un sistema

regulador puede ser dependiente de un sistema supervisor, siendo éste a su vez dependiente de otro sistema supervisor y así sucesivamente.

Debido a que el objetivo de este capítulo no es efectuar el análisis de cada uno de los sistemas mencionados, sólo se tratarán algunos aspectos importantes de los controladores reguladores.

Así como los sistemas de control se pueden dividir en dos áreas de estudio que son controles reguladores y controles supervisores, los sistemas de control regulador se pueden clasificar a su vez en tres grandes áreas de interés que son:

- a) Componentes de los sistemas de control
- b) Controles de propósito general
- c) Controles de propósito específico

A continuación se explican brevemente cada una de estas secciones.

#### a) Componentes de los sistemas de control

Los expendedores de componentes proveen el equipo básico que se puede emplear para implantar un gran número de aplicaciones entre las que se encuentran los controladores reguladores. Las compañías que compran componentes dispersos los ensamblan en sistemas que satisfacen sus necesidades, ya que prefieren amoldar sus necesidades a sus sistemas. Ejemplos de este tipo de sistemas vienen a ser los sistemas de adquisición de datos. Entendiéndose por sistemas de adquisición de datos aquellos en los cuales se pueden realizar las siguientes funciones:

- Conversión de las señales del proceso a una forma útil para un sistema digital.
- Transferencia de la información digitalizada a la memoria de la computadora maestra encargada del proceso.
- Conversión de los datos provenientes directamente del proceso a una representación que pueda ser interpretada más fácilmente.

En muchos casos los sistemas de adquisición de datos sirven como secciones de entrada de datos para sistemas computacionales mayores.

#### b) Controles de propósito general

Los controles de propósito general son más sofisticados cada día debido a la gran revolución de los microprocesadores. La finalidad de los controladores de propósito general es tratar de adaptarse a una gran variedad de algoritmos de control mediante la versatilidad de programación de un microprocesador en un mismo sistema de control.

### c) Controles de propósito específico

Este tipo de controles generalmente basan su funcionamiento en el empleo de microprocesadores diferenciando de los de propósito general en que cuentan con una arquitectura integral altamente especializada orientada a algún proceso en particular, teniendo por lo tanto un modelado mejor del sistema. La desventaja que presentan este tipo de sistemas es que deben ser contruidos bajo pedido específico de alguna industria ya que no se pueden estandarizar porque varían los procesos de una industria a otra dentro de la misma rama.

Por otra parte, es importante considerar que en cualquier sistema de control sin importar su orientación, una de las principales funciones a realizar es el dar aviso a los operarios cuando el proceso se encuentre en condiciones anormales; dicho aviso se logra mediante el empleo de diferentes alarmas. Como es fácil de suponer, no todas las alarmas son iguales, ya que deben de responder a alguna condición específica determinada previamente.

Las alarmas se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Alarmas de límite absoluto: Este tipo de dispositivos también se conoce con el nombre de alto-bajo, las cuales se activan cuando la variable del proceso excede alguno de los límites permitidos, ya sea inferior o superior.
- Alarmas de desviación: Esta clase de alarmas se activa cuando la variable del proceso difiere del valor previamente determinado, siempre y cuando dicha diferencia sea mayor al rango permitido por el dispositivo.
- Alarmas de tendencia: También son conocidas como alarmas de rapidez de variación, entrando en funcionamiento cuando la rapidez de variación de la variable del proceso, es mayor que el valor previamente especificado.

En caso de tener variables discretas desde un principio, existen varios tipos de alarmas disponibles entre los cuales están:

- Alarmas de estado: El aviso se activa siempre y cuando la variable de entrada no esté en el estado especificado.
- Alarmas de cambio de estado: Esta clase de alarmas entra en funcionamiento cuando el estado de la variable de entrada cambia.
- Alarmas de interruptor en el límite para salidas discretas: Este tipo de alarmas es instalado en sistemas cuya salida es de la forma de dos estados, siendo activadas cuando la salida está en alguno de los extremos que ha sido seleccionado con anterioridad.

### 5.3.- Niveles jerárquicos de sistemas reguladores de control.

El gran desarrollo que han tenido los sistemas digitales de control ha hecho que actualmente se pueda disponer de un gran número de estos sistemas para múltiples aplicaciones, así como sistemas especializados para usos muy específicos. También se puede observar que algunos controladores presentan características comunes con respecto a su diseño, arquitectura, o alguna otra cualidad de sistemas de esta clase, por lo cual se puede hacer una clasificación de los sistemas de control digital en base a alguna de las características que estos sistemas poseen.

Los sistemas reguladores de control pueden clasificarse en cinco niveles:

- a) Controladores de arquitectura integral
- b) Controladores de arquitectura separada
- c) Sistemas de control distribuido
- d) Controladores de lógica programable (PLC)
- e) Computadoras de control de procesos

A continuación se examina cada uno de los sistemas antes mencionados.

#### a) Controladores de arquitectura integral

Este tipo de controlador tradicionalmente ha estado disponible en sistemas neumáticos y eléctricos, pero recientemente se han desarrollado controles a base de microprocesadores que entran en los sistemas de arquitectura integral. En un controlador de arquitectura integral todas las funciones que se requieren para el control de algún proceso están contenidas en una unidad de proceso única. En este sistema se acepta una señal de algún proceso, la cual mediante alguna forma de control es procesada y finalmente se obtiene una señal de salida apropiada para un actuador.

En estos sistemas el operador puede modificar las condiciones de operación por medio de la interface con que cuenta, en la cual se presenta información del proceso y el operador puede poner el proceso en automático, manual o incluso cambiar el punto de referencia (set point), según las necesidades que se presenten. La interface mencionada se encuentra en la misma unidad del procesador.

#### b) Controladores de arquitectura separada

Este sistema básicamente es similar al anterior sólo que en este caso la unidad de proceso está separada de la interface para el control del operador. Una ventaja de este tipo sobre el anterior, es que en éste se puede tener el control del operador en

un lugar separado del proceso que se está regulando, lo cual es más conveniente cuando las características de dicho control puedan ser peligrosas.

En estos controladores las funciones de control son implantadas en circuitos impresos que se introducen en la unidad del proceso, con lo que se facilita su manejo, y en caso de presentarse alguna falla o si se requiere hacer alguna modificación a cierto algoritmo de control, todo será más sencillo de realizarse.

#### c) Sistemas de control distribuido

Un sistema de control distribuido esencialmente está formado de un grupo de controladores basados en microprocesadores, que están dispuestos a lo largo de una red de comunicación, la cual está enlazada a una consola de control o a una computadora supervisora que dirige las acciones del sistema. Los sistemas distribuidos se pueden clasificar en dos tipos, uno de los cuales llamado controlador inteligente proporciona una respuesta automática, este sistema acepta las señales del proceso y si es necesario hace los ajustes que se requieran para poder llevar a cabo la acción de control. El otro tipo de controlador no es más que una interface remota, la cual sólo acepta las señales del proceso y las envía a la red de comunicación.

Una ventaja de los sistemas distribuidos es el hecho de que el sistema supervisor puede en cierto momento obtener la información almacenada en cada uno de los controladores de la red.

#### d) Controladores de lógica programable

Un controlador de lógica programable (PLC) se define como un dispositivo electrónico operado digitalmente, que usa memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones, con las cuales se implantan funciones específicas tales como secuencias lógicas, acciones de conteo de tiempo y aritmética. Un PLC se ha usado esencialmente para reemplazar relevadores, relojes (timers) y secuenciadores en sistemas de control tradicionales, y son diseños generalmente para operación en plantas de procesos industriales.

Los PLC son frecuentemente confundidos con otro tipo de sistemas, como microcomputadoras de proceso y controles programables, que son usados para control numérico y para control de posición, pero los PLC son para control secuencial y no requieren de programación muy sofisticada y mantenimiento especial. Recientemente los fabricantes de PLC's han adicionado a sus dispositivos algunas otras funciones, como manejo de entradas y salidas analógicas además de las digitales y funciones de control PID entre otras.

### e) Computadoras de control de procesos

Un sistema de este tipo está formado básicamente por una computadora, la cual se utilizará para llevar a cabo un proceso de control. Lo que requiere en un sistema de este nivel, a parte de la computadora es tener un sistema de adquisición de datos que cumpla con los requerimientos, así como una interface para que el operador mantenga una comunicación con el sistema, la cual puede ser una terminal monitor (CRT) en el mejor de los casos. También es necesario contar con todos los sistemas de emergencia (alarma) que se requieran.

Un sistema de control por computadora ofrece muchas flexibilidades, ya que se pueden implantar muchos algoritmos y manejar una gran cantidad de información.

A continuación se mencionan las características importantes que se deben especificar para los sistemas digitales.

- ¿Cuántas señales analógicas admite?
- Número de bits que maneja.
- Capacidad de memoria.
- ¿Cuántos puertos de entrada/salida tiene y de que tipo son?
- ¿Cuáles son las especificaciones de los puertos?
- ¿Que niveles de señal puede entregar a la salida?
- ¿Que protecciones tiene contra alguna falla?
- ¿Que tipo de control utiliza (batch o en línea)?
- ¿Cómo se realiza su programación?
- ¿Que algoritmos ya están incluidos en el sistema?
- ¿Con que otros sistemas se puede enlazar?

### 5.4.- Sistemas de control digital directo (DDC).

Como se comentó en capítulos anteriores, en nuestros días los sistemas digitales de cómputo (sistemas digitales de control) se han empleado en tres aplicaciones diferentes. La primera es como simple adquisición y almacenamiento de datos. La segunda aplicación es la de supervisión y control. En esta forma de control, las señales son enviadas del sistema digital de control a algún controlador analógico para cambiar los puntos de prueba (set points) a valores previamente calculados por dicho sistema digital de cómputo. La tercera aplicación se encuentra en los sistemas de control digital directo mejor conocidos como DDC (direct digital control). En esta forma de control, el sistema digital de cómputo genera señales para enviarlas directamente a los dispositivos de control final (actuadores), donde la función de estos es la de ejecutar alguna orden del sistema digital. En los casos de supervisión, control y los DDC, el sistema digital está constituido por una malla cerrada de control, comprendida entre la variable de medición del proceso y el sistema digital de cómputo el cual está programado con las características del proceso deseado. Bajo la supervisión de un programa de operación del proceso, el cual debe estar optimizado, modelado en algunas partes del proceso o ejecutado por algunas funciones sofisticadas de

control que van más allá de la capacidad estándar de algunos dispositivos analógicos.

En el control digital directo, el sistema digital de cómputo calcula los valores de las variables manipuladas (como por ejemplo el posicionamiento de una válvula) directamente de los valores de los puntos de calibración (set points) para tal proceso. Las decisiones del sistema digital de cómputo son aplicadas directamente al proceso, de aquí el nombre de control digital directo. Este tipo de sistemas de control tienen un arreglo como el que se muestra en la figura 5.2.

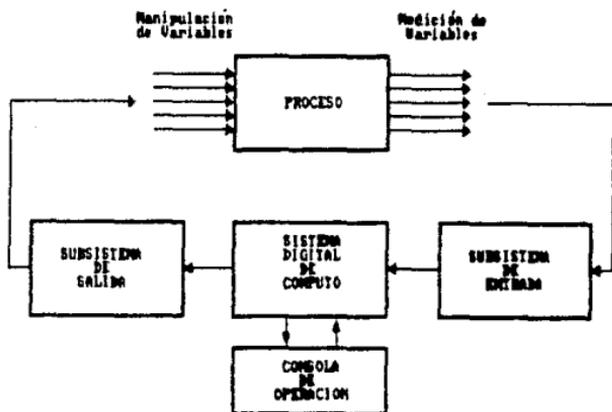


Fig 5.2 Sistema de control digital directo.

Debido a que los valores de las variables manipuladas son calculadas por el sistema digital de cómputo, los controladores convencionales de tres etapas (controladores proporcionales, derivativos e integrales) ya no son necesarios.

Las funciones de los DDC son ejecutadas por las ecuaciones llamadas algoritmos de control, por medio de las cuales, la computadora procesa el valor de la variable manipulada del punto fijado y calcula el valor de la variable controlada.

Uno de los primeros motivos para el desarrollo de los DDC's fue el costo tan bajo y el gran control que se tenía sobre diferentes variables de control.

La idea básica fue que un sistema digital de cómputo podría proveer las mismas funciones que varios controladores analógicos; por lo que debía haber un punto en el cual el costo de varios de estos controladores fuera igual al del sistema digital de cómputo. Parecía que dos problemas habían sido tomados a la ligera:

1.- El costo de programación. Sin experiencia en DDC y sin programas de DDC, los esfuerzos de los programadores excedieron en mucho a los previstos.

2.- Respaldo de hardware. El problema se origina del hecho que el personal debe ser capaz de operar el control de la planta en modo manual en al caso de una falla total del sistema digital de cómputo.

En realidad los sistemas de control analógicos son muy confiables y relativamente baratos y el resultado, es que no hay punto de equilibrio para el cual el costo de los elementos del control analógico iguale el costo de los sistemas digitales que los reemplazaron.

Aunque la reducción de mano de obra es otra justificación potencial para el uso de sistemas DDC, esto raramente ha probado ser verdad. Muchas unidades de proceso están ya en operación con un mínimo de personal. De hecho la presencia de una computadora generalmente requiere la operación de personal calificado causando esto que los costos de operación suban en lugar de que bajen.

No importa cual sea la aplicación, ya sea control de procesos o cualquier otra, el uso de un sistema digital de cómputo virtualmente siempre eleva el costo comparado con la manera convencional de llevar a cabo dicha tarea. La justificación para el uso del sistema DDC es la mayor eficiencia del proceso que realiza este. En el caso del sistema DDC simplemente por reemplazar un sistema analógico con su algoritmo equivalente de control discreto no siempre mejora el funcionamiento del sistema. Esto es, ejecutar digitalmente las mismas tareas que habrían sido ejecutadas por un sistema analógico no genera resultados económicos significativos.

Los sistemas digitales de cómputo son caros principalmente por su bien conocido poder de cómputo. Para justificar esta salida de fondos, la capacidad de cómputo debe ser utilizada plenamente, implantando algoritmos de control eficientes que resultan imprácticas o imposibles con equipo analógico.

Una alternativa para resolver los algoritmos de control es por medio de la *transformada Z*. Aunque la calidad de estos algoritmos excede a la de los algoritmos proporcionales-derivativos-integrales, virtualmente en todos los casos la mejora en eficiencia es de alrededor del 30%, lo cual probablemente no sea suficiente para justificar un sistema digital para la planta típica.

Nuevamente, la justificación económica debe venir de la implantación de las estrategias de control que son imprácticas o

imposibles para usarse con sistemas analógicos. Aunque la justificación de los sistemas DDC no es sencilla, hay ciertos casos donde estos sistemas son extremadamente atractivos.

Por último se debe de mencionar que generalmente estos sistemas se encuentran aislados de otros medios por medio de optoacopladores o sistemas de radioenlace, además de que un DDC casi siempre se emplean en puntos remotos o de difícil acceso al operario.

#### 5.5.- Autoprueba.

La etapa de autoprueba o autodiagnóstico en cualquier sistema mecánico, eléctrico o electrónico debería ser de los puntos más importantes al poner en funcionamiento dicho sistema. En algunos casos, esta etapa sería muy complicada o imposible, ya que por el grado de complejidad que se involucra, resultaría lenta, no sería del todo confiable y sobre todo, extremadamente costosa.

Por esta razón, es necesario que la prueba del sistema este dentro de un plano accesible a los recursos con los cuales se cuenta. Esta etapa consiste principalmente en verificar que el sistema esté en condiciones de operar adecuadamente; ésto se encuentra con frecuencia en equipos electrónicos.

Hay que mencionar que la autoprueba de un sistema nunca será completa ni del todo confiable por dos simples razones:

- 1) No se puede probar cada elemento que compone al circuito o al mecanismo, ni garantizar que funcione bien durante el tiempo de operación.
- 2) La parte del sistema que realiza la autoprueba también es susceptible a fallas, por lo que debería existir otro mecanismo que probara esta parte, y así sucesivamente.

Por esta razón, el criterio para elegir que se va a probar dentro del sistema puede ser extremadamente variable, por lo que siempre se busca que sean los elementos críticos los que sean sometidos a este diagnóstico.

## Bibliografía

- Katsuhiko Ogata  
Ingeniería de Control Moderna  
Ed. Prentice Hall
- J. A. Moore S. M. Herb  
Understanding Process Control  
ISA (Instrument Society of America)
- Robert A. Gabel Richard A Roberts  
Señales y Sistemas Lineales  
Ed. Limusa
- Ing. Abel Clemente Reyes  
Tesis Computadora Monotabla

# CAPITULO 6

## ALGORITMOS DE CONTROL

### 6.1.- Introducción.

Una de las herramientas que debe ser usada cotidianamente por los diseñadores de sistemas analógicos y digitales son los algoritmos. Estos encuentran su máxima utilidad cuando se logra realizar la sustitución de electrónica analógica por digital, logrando dar mayor flexibilidad de procesamiento a un sistema, además de tener una mayor integración. Un sistema digital que realice las mismas funciones que uno analógico, siempre tendrá la ventaja de poder ampliar sus funciones con poca o nula ampliación de la electrónica, inclusive se puede llegar al extremo de modificar totalmente su función básica cambiando únicamente su algoritmo de control. Un sistema digital basado en algoritmos de control tiene la ventaja de que los algoritmos pueden ser conjuntados por medio de programación en formas que serían difíciles y costosas usando dispositivos de hardware. Las aplicaciones en las que son usados los algoritmos pueden ser limitadas únicamente por los dispositivos electrónicos disponibles así como las librerías del sistema, combinada con la imaginación del programador.

### 6.2.- Algoritmos de control.

Frecuentemente, en la experiencia diaria, se observa que la solución a muchos problemas de ingeniería adquiere la forma de una secuencia de acciones a seguir. Analizando esto, se llega a la conclusión de que las soluciones presentan dos características importantes: la secuencia de las acciones dependen del tiempo y se realizan acciones alternativas dependiendo de alguna decisión que haya sido tomada. Curiosamente, estas características coinciden con las de los algoritmos. Para definirlos y poder visualizar estas características claramente, lo mejor sería analizarlos a través de un ejemplo en el que se resuelva un problema de ingeniería por medio de algoritmos.

El control de tráfico de un cruceo es un buen ejemplo de un problema de ingeniería que se resuelve con una secuencia de acciones. En este caso, la secuencia es el encendido de las luces de un semáforo, de tal forma que el paso por el cruceo sea seguro. En la figura 6.1 se muestra este cruceo.

Las letras N, S, E y O representan los semáforos que controlan el tráfico de norte, sur, este y oeste respectivamente. En el caso más sencillo, las luces que controlan el tráfico del norte y del sur, siempre tendrán las mismas indicaciones y de igual forma sucede con las luces de este y oeste.

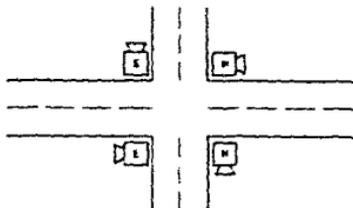


Fig. 6.1 Intersección del tráfico en un cruceo.

Como se debe de iniciar la secuencia del algoritmo por algún punto, se selecciona una situación segura del cruceo, así pues, la condición inicial es que las luces del norte y del sur estén en rojo y las del este y oeste estén en verde. La secuencia indica que las luces E y O deben de cambiar a amarillo para preparar el cambio de preferencia de tráfico del cruceo, en seguida cambiarán a rojo, simultáneamente las luces N y S cambiarán a verde. Después de que ha pasado el tráfico del norte y sur las luces deberán de cambiar a amarillo para preparar nuevamente el cambio de preferencia al sentido este-oeste, finalmente cambiarán a rojo en forma simultánea al cambio las luces E y O a verde completando así un ciclo que se debe de repetir indefinidamente.

Debe notarse que la descripción en la operación de los semáforos es difícil de seguir. Es complicado visualizar la operación así en el caso más sencillo, por este razón, una herramienta de acciones se describe comúnmente mediante un diagrama de flujo de instrucciones.

En la figura 6.2 se muestra el diagrama de flujo para el cruceo que se ha descrito. Los rectángulos son llamados bloques de acción, las acciones que se deben considerar en estos puntos son descritas en su parte interior. Los bloques de acción están unidos por líneas con flechas que indican la secuencia de las acciones que se deben realizar. Normalmente las acciones a tomar son abreviadas para tener diagramas más reducidos y fáciles de comprender. En este caso, la notación NO PUEDE indica que las luces del norte y sur están en rojo.

El diagrama de flujo menciona claramente que esta acción tendrá una duración de veinte segundos, mientras que la condición de rojo-amarillo durará cinco segundos. En la mayoría de los casos de diagramas de flujo, el intervalo de tiempo que dura el bloque de acción no se marca, en este caso se debe de asumir que todos los bloques tienen la misma duración de tiempo. Este intervalo debe de estar marcado en algún otro lado y es llamado comúnmente intervalo de reloj. Las acciones también son llamadas salidas, por representar comandos que deben de ser realizados a la orden del controlador del sistema en los dispositivos de acción.

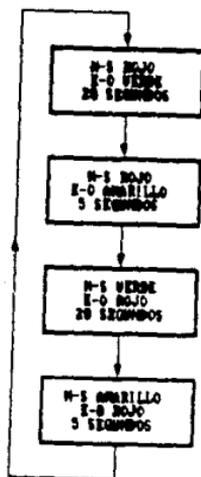


Fig 6.2 Diagrama de flujo del control de tráfico.

El sistema que se ha descrito sirve efectivamente para el control de tráfico del cruce, mientras que el tráfico de las dos direcciones sea semejante. Si fuera el caso que algún sentido tuviera más tráfico, entonces sería suficiente con dar un tiempo mayor de luz verde en el sentido de mayor tráfico.

Si se considera que el tráfico en la calle norte-sur es mucho más elevado que la calle este-oeste el cual no debe de ser detenido sin necesidad, entonces se debe de tener un control de tráfico que pueda sentir cuando existen autos parados en la calle este-oeste, para dar luz roja a los semáforos N y S y poder permitir un cruce seguro. Para solucionar este problema, se pueden colocar sensores de tráfico en el pavimento de la calle este-oeste, como se muestra en la figura 6.3. Las señales de tráfico estarán en verde la mayor parte del tiempo en la calle de norte-sur, donde circula más tráfico, y el semáforo de las calles este-oeste tendrá señal roja. El tráfico de la calle N-S sólo puede ser detenido cuando esté un auto esperando en la calle E-O.

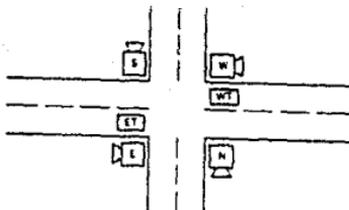


Fig 6.3 Esquema del control de tráfico colocando los sensores sobre el pavimento.

En este caso se debe notar que la solución a este problema es necesario realizarla a través de una decisión, la cual esté basada en los sensores colocados en el pavimento. En la figura 6.4 se muestra un símbolo de decisión que se utiliza en los diagramas de flujo para indicar que en ese punto se debe de realizar una decisión. En esa misma figura se puede observar que la acción A es seguida por la acción B sólo si X es falso, mientras que la acción C sigue de la A sólo que X sea verdadera. El símbolo de decisión guía a la acción B o C dependiendo de la condición de X. Debido a que la decisión sólo guía alguna acción, no se debe de considerar ningún tiempo para su ejecución.

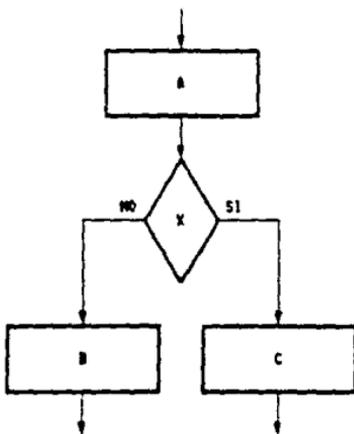


Fig 6.4 Diagrama del símbolo de decisión.

Si en la parte anterior se han realizado dos diferentes alternativas a seguir, entonces es muy probable que en un paso más adelante se pretenda relacionarlos; para realizar esta acción, se

muestran en la figura 6.5 los símbolos más usuales para llevar a cabo tal efecto. Como se puede observar claramente en el diagrama de flujo, la acción N se realizará después de cualquiera de las acciones L o M.

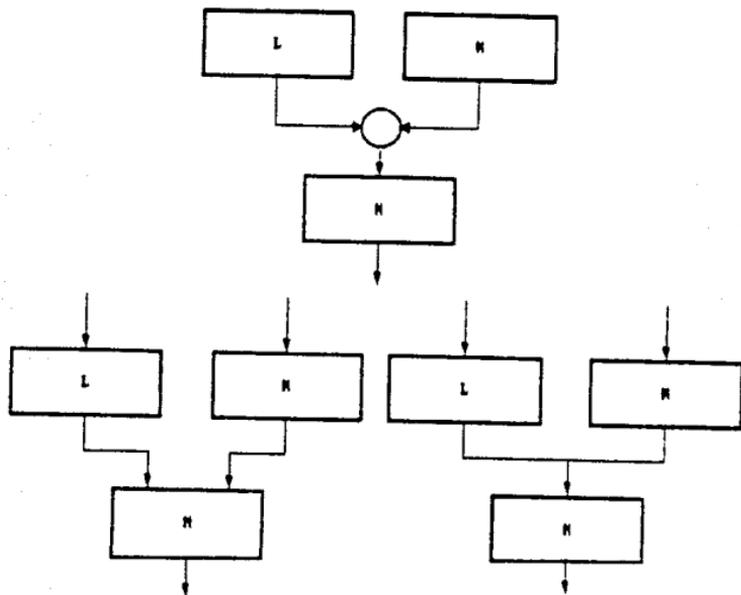


Fig 6.5 Símbolos empleados para relacionar dos procesos después de realizar una decisión.

Con lo que se ha descrito hasta aquí, se puede realizar el diagrama de flujo del cruceo con sensores de tráfico. Se observa que dos decisiones pueden llevarse a cabo, siempre que en cualquiera de los sensores no se registre la presencia de un automóvil, los semáforos de nortensur permanecerán en verde; si se tiene el caso contrario, esto es, un auto en la calle este-oeste, el semáforo N-S cambiará a rojo y el E-O cambiará a verde. Debido a que la señal de los sensores es enviada al controlador en el que se implantará el diagrama de flujo de la figura 6.6, se dice que estas señales son entradas. Por lo tanto, los circuitos que se diseñen deberán de tener entradas, en las cuales se basan las decisiones y las salidas serán las acciones que se realizarán. Además deberán de tener un reloj para sincronizar las acciones.

La secuencia de decisiones y acciones que hasta ahora se han descrito es lo que se conoce como un algoritmo de control, el cual puede ser descrito por medio de diagramas de flujo (flujoarabos), tablas, o cualquier otra técnica apropiada. Un algoritmo, sin importar como se represente, tiene varias características importantes. La primera de estas se refiere a que debe tener un número finito de pasos. Note que el ejemplo del cruceo, cumple con esta característica, aun cuando se esté repitiendo indefinidamente el proceso. Como segunda característica se encuentra que cada paso (acción o decisión) debe ser precisa y clara en su definición, así como el orden en el que se deben de ejecutar. La tercera característica, se refiere a que el algoritmo debe de tener una o más salidas y, finalmente, un algoritmo puede tener o no entradas que sean requeridas para su operación.

Dos de las representaciones para algoritmos más útiles en el diseño de sistemas, son los diagramas de tiempo y los diagramas de flujo de instrucciones también llamados flujoogramas.

Un diagrama de tiempo aclara la secuencia de tiempo y otras relaciones entre las diferentes señales de control del sistema. En un circuito secuencial sincrónico (también llamado modo reloj), los pulsos sincronizan todas las acciones incluyendo las señales de transición en las variables de control. En este tipo de circuitos se emplean arreglos de lógica combinatorial y elementos de memoria en los que la salida en los tiempos entre esta en función de las entradas y las condiciones del circuito, en el cual su funcionamiento (disparar) se controla mediante pulsos de reloj, de tal forma que la salida también serán pulsos. Por otro lado, en un sistema asíncrono, la señal de transición en una variable de control, puede causar un cambio a otra variable de control. Un diagrama de tiempo es muy útil en un control asíncrono ya que provee una representación ilustrativa de los cambios requeridos y las transiciones de todas las variables de control.

Un flujoograma es una manera conveniente de especificar la secuencia de pasos de procedimientos y formas de decisión, para un algoritmo. Un diagrama de flujo para un algoritmo diseñado, usará normalmente los nombres de las variables de los registros definidos en la configuración inicial del problema. Así pues, se translada un algoritmo de su enunciado en palabras a un diagrama de flujo de información que enumera la secuencia de operaciones de transferencia entre los registros conjuntamente con las condiciones necesarias para su ejecución.

Un flujoograma es muy similar a una "Carta ASM". Cada bloque funcional en el flujoograma es equivalente a un estado en una carta ASM. El bloque de decisión en el flujoograma es equivalente a la información binaria escrita por conducto de las líneas dirigidas que conectan dos estados de la carta. Como consecuencia, es conveniente algunas veces expresar un algoritmo por medio de un diagrama de flujo del cual se puede deducir el diagrama de estado.

1.- Las Cartas ASM son simplemente cartas que describen el funcionamiento de una máquina secuencial. Esto sustituye hasta cierto punto el diseño tradicional de circuitos secuenciales.

El concepto de bloques permite al usuario seleccionar una función predefinida (bloque funcional), a la que se le da un nombre (número de bloque) y, posteriormente, se relaciona con otros bloques para configurar una malla de un control específica. El usuario asigna la numeración de los bloques y utiliza esta para definir la relación de bloques funcionales de una malla de control, por ejemplo, la entrada a un bloque es definida como un número de bloque en donde la señal se origina. Un bloque funcional contiene parámetros de calibración que no son ajustables por el usuario cuando el módulo se está ejecutando.

Los algoritmos se aplican con éxito en la programación de sistemas aunque estos se emplean en todas las áreas de diseño en ingeniería. Por otra parte, la programación de sistemas se realiza con éxito mediante la técnica conocida como programación estructurada (modularidad). Así pues, un programa estructurado está formado de funciones y procedimientos básicos, los cuales se combinan para crear rutinas de acuerdo con las reglas del lenguaje en el que se está trabajando. Estas rutinas son luego posicionadas y combinadas para crear un programa que funcione.

Las rutinas creadas usando las funciones básicas del lenguaje, pueden a su vez, usarse para crear rutinas aún mayores. Estas rutinas creadas por el programador son algunas veces llamadas bloques, de forma que se usan para construir otras rutinas y, finalmente, el propio programa. Este método tiene una ventaja indiscutible, los bloques pueden dividir un problema en diferentes partes cada vez más pequeños hasta que se trabaje con una rutina que pueda codificarse y probarse con facilidad. Varios programas fácilmente depurados pueden combinarse para crear una aplicación completa.

Por otra parte, el concepto de modularidad permite incrementar la productividad. Una vez que se hayan perfeccionado las rutinas que se usan para aceptar y editar la entrada del usuario, se puede simplemente copiar éstas en cualquier proyecto futuro que implique una entrada de usuario.

Otra ventaja del concepto de modularidad es la facilidad con que los errores pueden localizarse y corregirse. El contexto del error usualmente lleva directamente al subprograma causante del error. Debido a que los bloques están formados de bloques más pequeños, es fácil estrechar las posibilidades hasta dar con la secuencia (proceso) que está causando el problema.

La mayoría de los programas necesitan modificaciones y extensiones de vez en cuando. Los cambios y extensiones normalmente pueden hacerse sin problema alguno en un programa estructurado. Las estructuras que se emplean en la programación estructurada se muestran en la figura 6.6.

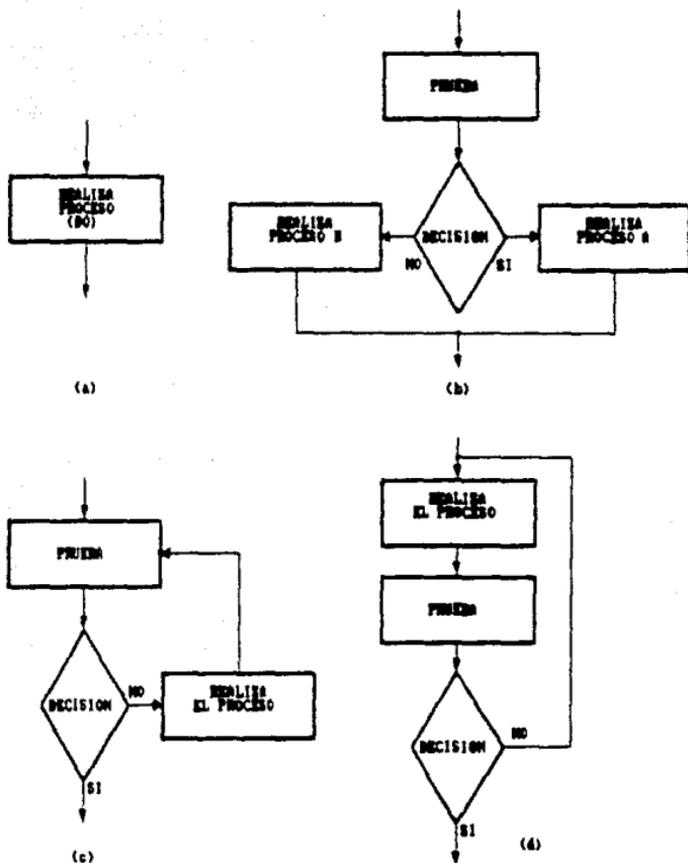


Fig. 6.6 Figuras lógicas usadas en la programación estructurada.

La estructura de la figura 6.50a) (DO) es la más elemental de todas. Esta es simplemente una secuencia de instrucciones para ejecutarse independientemente de los valores de las diferentes variables que se estén procesando. Ninguna decisión se lleva a cabo en este módulo y corresponde simplemente a un ciclo iterativo.

Con excepción de los programas más sencillos, normalmente se tiene un elemento de decisión para permitir responder al sistema a

diferentes condiciones del mundo exterior. La más común de las estructuras usadas para este efecto se muestra en la figura 6.6(b). Dependiendo de alguna decisión o prueba, se realizará el proceso A o el proceso B. En algunas ocasiones la decisión a tomar depende de un bloque DO ejecutado anteriormente. Una extensión de esta estructura usa una secuencia de pruebas más complicadas para poder realizar uno de N procesos. A esta figura se conoce con el nombre de estructura IF-THEN-ELSE.

La estructura de la figura 6.6(c) se conoce como DO-WHILE. Aquí el proceso se ejecuta repetidamente mientras la condición de prueba no se cumpla. En el momento que el resultado de la decisión cambie, se podrá salir del anillo.

Si la decisión es inmediatamente desfavorable (no se cumple), la estructura DO-WHILE nunca ejecutará el proceso. Sin embargo, existe otra estructura alterna similar a ésta conocida con el nombre de estructura REPEAT-UNTIL, la cual se muestra en la figura 6.6(d). Esta estructura es muy similar en construcción al anillo anterior, sin embargo, éste ejecutará cuando menos una vez el proceso, independientemente de las decisiones que se tomen.

En muchos casos los bloques del proceso pueden contener estructuras propias, dependiendo de la estructura que el programador quiera dar al diagrama de flujo, al ir descomponiendo de bloques generales a más especializados. Por ejemplo, en el caso de la figura 6.6(c) el proceso que se debe de realizar puede ser otro DO-WHILE, obteniendo un anillo dentro de otro anillo, produciendo el caso llamado anidamiento.

Independientemente de las estructuras que se usen, se puede observar que siempre existe una entrada y una salida. Si un bloque de proceso entrara directamente al bloque de proceso A en la figura 6.6(b), sería un claro ejemplo de programación no estructurada.

Una vez que se han determinado los detalles del algoritmo y de la estructura, el codificar el módulo en algún lenguaje escogido es relativamente fácil y directo. Como en el diseño electrónico, cada módulo básico debe de ser probado y codificado antes de implantar el bloque general. Siguiendo esta rutina, se deben realizar simulaciones del proceso en cada bloque con datos aleatorios. Las pruebas son limitadas, pero una vez realizadas con éxito, se obtiene la confianza para continuar con el siguiente módulo. Conforme se van integrando los diferentes módulos se debe de monitorear cuidadosamente el buen funcionamiento debido a que algunas veces aparecen errores al pasar datos de un módulo a otro, a pesar de que funcionan correctamente en forma independiente.

Por último, cabe mencionar que la habilidad del monitoreo se da generalmente como función de la complejidad del sistema de desarrollo del microprocesador para crear el programa.

## Bibliografía

- Morris Mano  
Logica Digital y Diseño de Computadores  
Ed. Prentice Hall
- Claude A. Wiatrowsky and Charles H. House  
Logic Circuits and Microcomputer Systems  
Ed. McGraw Hill
- Guillermo Levine  
Introducción a la Programación con  
Programación Estructurada  
Ed. McGraw Hill
- Neil Dale David Orshalick  
Pascal  
Ed. McGraw Hill

# CAPITULO 7

## SISTEMAS DE SUMINISTRO

### 7.1- Sistemas de suministro (fuente de alimentación).

Los circuitos de los sistemas digitales de control son energizados por fuentes de corriente directa con muy buena regulación de carga. Generalmente se emplea un voltaje de C.D. de 5 y/o 12 volts, los cuales se obtienen a partir de voltajes más altos pero menos regulados, generalmente de 24 volts de C.D.. Existen otros tipos de fuentes de suministro como son las fuentes conmutadas y las fuentes basadas en transformadores ferromagnéticos.

Por otro lado, para el caso de las fuentes que dependen del suministro de la línea de C.A., ésta debe circular a través de un interruptor de corto circuito (breaker) para proteger al sistema en caso de fallas internas del circuito. Cuando se conecta la alimentación de C.A., se debe proteger la fuente de suministro (y el sistema electrónico) con alguno de los métodos vistos en el capítulo 3.

El suministro de energía para sistemas digitales de control debe ser exclusivo, ésto es, no deben alimentar al mismo tiempo circuitos o sistemas como elevadores mecánicos, máquinas de escribir eléctricas u otros dispositivos que estén conmutando (power switching devices) ya que dichos dispositivos actuarán como generadores de ruido eléctrico aditivo, causando interferencias y mal funcionamiento de los circuitos. Otra fuente de perturbaciones pueden ser debidas a transitorios en la línea de C.A. como las que ocurren cuando se conectan equipos de tipo inductivo (motores).

### 7.2.- Características de una fuente de alimentación.

La calidad de una fuente de alimentación depende de la regulación de voltaje de carga y otros factores tales como los ambientales. A continuación se analizará en forma general algunas características de las fuentes de alimentación reguladas.

#### 7.2.1.- Regulación de carga.

La regulación de carga (también conocida como efecto de carga) se define como el cambio en el voltaje de salida cuando la corriente de carga varía del valor mínimo (cuando se conecta la fuente de alimentación a plena carga) al valor máximo, ésto es,

$$LR = V_{NL} - V_{FL}$$

donde:

LR = Regulación de carga

$V_{NL}$  = Voltaje de carga sin corriente de carga

$V_{FL}$  = Voltaje de carga a plena corriente de carga

Con frecuencia, la regulación de carga se expresa como un porcentaje y se obtiene dividiendo el cambio en el voltaje de carga entre el voltaje sin carga.

$$XLR = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{NL}} \times 100\%$$

donde:

XLR = Porcentaje de regulación de carga.

#### 7.2.2. - Regulación de línea.

La regulación de línea (también conocida como efecto de línea) es el cambio en el voltaje de carga dentro del límite especificado del voltaje de línea, comúnmente de  $115V \pm 10\%$ , en un intervalo de aproximadamente 103V a 127V.

#### 7.2.3. - Rechazo de rizado.

Una vez rectificada la señal de C.A., el siguiente paso es filtrar dicha señal para eliminar cualquier componente de C.A. mediante filtros RC y/o LC, generalmente de primero o segundo orden, en algunos casos son sintonizados para eliminar la señal de 60Hz inherente a la línea. Los reguladores de voltaje estabilizan el voltaje de salida contra variaciones en el voltaje de entrada. Todo voltaje de C.A. rectificado y filtrado contiene a la salida del circuito un valor de C.D. y alguna variación de C.A. Esto se conoce como rizado (RP) y la forma para calcular matemáticamente el porcentaje de rizado en una señal de C.A. que contenga C.D. es:

$$\%P = \frac{\text{voltaje de rizado (RMS)}}{\text{voltaje C.D.}} \times 100\%$$

Para un proceso de regulación se requiere básicamente de tres etapas las cuales son: rectificación, filtrado y regulación final. A continuación se describirá brevemente cada una de estas etapas.

### 7.3.- Proceso de regulación de voltaje.

#### 7.3.1.- Rectificación.

Este es el proceso mediante el cual un voltaje de C.A. de un valor promedio igual a cero se convierte en uno que tiene un valor de C.D. o promedio mayor que cero.

Existen tres tipos de rectificación los cuales son:

##### a) Media onda

El rectificador de media onda consta de un sólo diodo el cual conduce sólo en el semiciclo positivo, de  $t=0$  a  $t=\pi$ , dando como resultado la onda mostrada en la figura 7.1 (durante el semiciclo negativo el diodo no conduce). Cabe hacer notar que esta onda contiene menos componente de directa que la salida del rectificador de onda completa. La expresión mediante la cual se puede conocer su componente de C.D. es:

$$V_{prom} = \frac{1}{T} \int_0^T v(\phi) d\phi$$

$$\text{donde } v(\phi) = V_{pp} \text{ Sen}(\phi) \\ T = 2\pi$$

Por lo tanto:

$$V_{prom} = V_{cd} = \frac{V_{EF}}{2\pi} \left[ \cos\phi \right]_0^{\pi} = .318V_{pp}$$

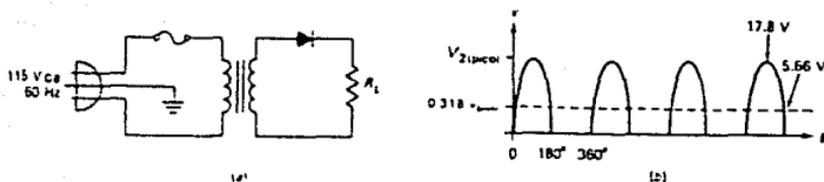


Fig. 7.1 Circuitos rectificadores de media onda: (a) Rectificador de media onda; (b) Salida rectificada.

## b) Rectificación de onda completa

La figura 7.2(a) muestra un rectificador de onda completa. Durante la mitad positiva del ciclo del secundario, el diodo  $D_1$  se polariza directamente y el diodo  $D_2$  se polariza inversamente; por consiguiente la corriente pasa a través del diodo  $D_1$ , la resistencia de carga y la mitad superior del devanado del transformador (Fig 7.2(c)). Durante la mitad negativa del ciclo, la corriente pasa a través del del diodo  $D_2$ , la resistencia de carga y la mitad inferior del devanado (Fig 7.2(d)). Debe notarse que el voltaje en la carga tiene la misma polaridad en las figuras 7.2(c) y 7.2(d) debido a que la corriente que pasa a través de la resistencia de carga circula en la misma dirección, no importando cual de los diodos este conduciendo. Esta es la razón por la cual el voltaje en la carga es una señal de voltaje onda completa rectificificada como se indica en la figura 7.2(b). El valor de la componente de directa la se puede obtener mediante la siguiente expresión:

$$V_{prom} = \frac{1}{T} \int_0^T v_C(t) dt$$

$$\text{donde } v_C(t) = V_{pp} \text{ Sen } \omega t$$

$$T = \pi$$

Entonces

$$V_{prom} = V_{CD} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} V_{pp} \text{ Sen } \omega t dt$$

$$V_{prom} = V_{CD} = \frac{V_{pp}}{\pi} \left[ -\text{Cos } \omega t \right]_0^{\pi} = \frac{2V_{pp}}{\pi} = .636V_{pp}$$

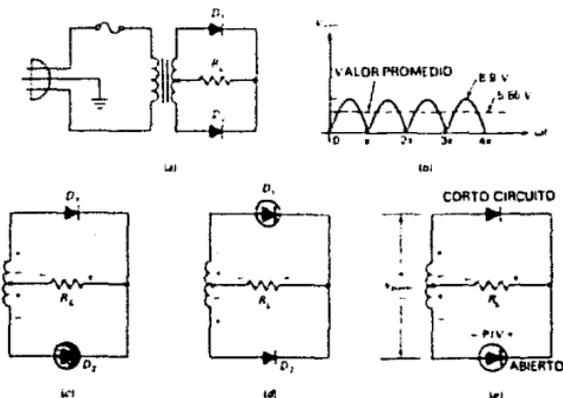


Fig 7.2 (a) Rectificador de onda completa. (b) Salida rectificificada. (c) Semiciclo positivo. (d) Semiciclo negativo.

### c) Rectificador puente

En la figura 7.3(a) se muestra el rectificador tipo puente. Durante la mitad positiva del ciclo de voltaje del secundario (fig 7.3(c)) los diodos  $D_2$  y  $D_4$  están polarizados directamente, por lo que el voltaje en la carga tiene la polaridad indicada. Durante la parte negativa del ciclo (fig 7.3(d)), los diodos  $D_1$  y  $D_3$  están polarizados directamente; de igual forma, el voltaje en la carga tiene la misma polaridad. En cualquiera de las dos mitades del ciclo, el voltaje en la carga tiene la misma polaridad porque la corriente de carga está en la misma dirección, sin importar que diodo está en conducción. El valor de la componente de directa se puede obtener mediante la misma expresión que para un rectificador de onda completa.

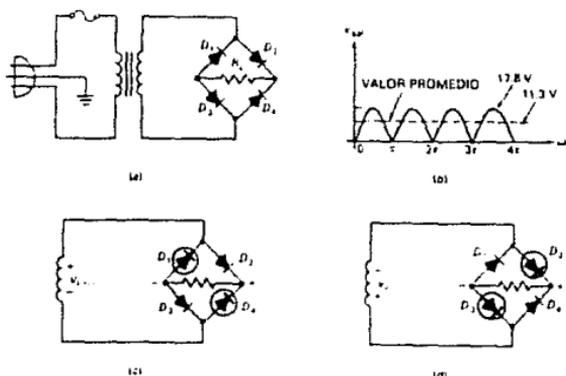


Fig 7.3 (a) Rectificador puente. (b) Salida rectificada. (c) Semiciclo positivo. (d) Semiciclo negativo.

Cabe hacer notar que el rectificador de onda completa se emplea generalmente cuando se cuenta con un transformador con derivación central o bien para fuentes unipolares.

Por otro último, una especificación importante en la que se debe poner especial atención es el voltaje inverso de pico (PIV) que puede soportar el diodo en condiciones normales.

### 7.3.2.- Filtrado.

Antes de entrar en los detalles de un filtro es apropiado considerar al método usual de clasificar los circuitos de filtrado para poder apreciar claramente la eficiencia de un circuito como filtro.

### a) Filtro RC

La figura 7.3(a) muestra dos filtros RC, comprendidos entre el capacitor de entrada y la resistencia de carga. Se considera en el diseño que  $F$  es mucho mayor que  $X_c$  a la frecuencia del rizado. Por lo tanto, el rizado cae a través de una resistencia en serie en vez de hacerlo por la resistencia de carga. Normalmente  $F$  es por lo menos 10 veces mayor que  $X_c$ ; esto significa que cada sección atenúa el rizado a un factor de por lo menos 10. La desventaja principal del filtro RC es la pérdida de voltaje de C.D. a través de cada resistencia; esto significa que el filtro RC es apropiado solo para cargas ligeras (corrientes pequeñas de carga o resistencias grandes de carga).

### b) Filtro LC

Cuando la corriente de carga es grande, los filtros LC mostrados en la figura 7.3(b) son mejores que los filtros RC. Una vez más, la idea es reducir el rizado por medio de componentes pasivos en serie, en este caso los inductores. Esto se lleva a cabo haciendo  $X_L$  mucho mayor a  $X_c$  en la frecuencia de rizo. De esta forma, el rizado puede reducirse a unos niveles extremadamente bajos, además, la caída de voltaje a través de los inductores, es mucho menor, puesto que solo interviene la resistencia del devanado.

El filtro LC fue muy popular en el pasado; actualmente resulta obsoleto para fuentes de regulación típicas, debido principalmente al tamaño y al costo de los inductores. Para fuentes de alimentación de bajo voltaje, el filtro LC ha sido reemplazado por circuitos integrados (IC) reguladores de voltaje, que son filtros activos que reducen el rizado y mantienen constante el voltaje de C.D.

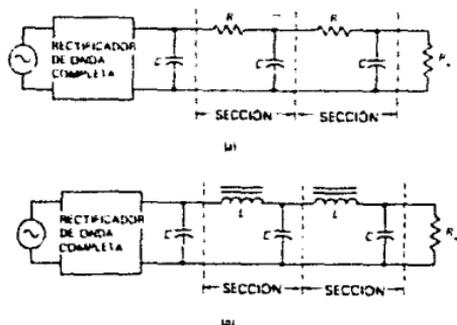


Fig. 7.3 (a) Filtro RC. (b) Filtro LC.

### 7.3.3. - Regulación.

#### a) Reguladores transistorizados

##### - Regulador serie

Las características de un regulador de voltaje pueden mejorarse significativamente utilizando dispositivos activos tales como el transistor. El más simple de los reguladores de voltaje de transistores tipo serie aparece en la figura 7.4(a). En esta configuración el transistor se comporta como una simple resistencia variable cuya resistencia es determinada por las condiciones de operación. La operación básica del regulador se describe mejor utilizando el circuito de la figura 7.4(b), en la cual el transistor ha sido reemplazado por una resistencia variable,  $R_T$ . Para variaciones en  $R_L$ , si  $V_L$  debe permanecer constante, entonces la relación de  $R_L$  a  $R_T$  debe permanecer fija. Aplicando la regla del divisor de voltaje se obtiene:

$$V_L = \frac{R_L V_i}{R_L + R_T}$$

donde:

$$\frac{R_L}{R_T} = k_s$$

Entonces:

$$\frac{R_L}{R_L + R_T} = \frac{k_s R_T}{k_s R_T + R_T} = \frac{k_s}{k_s + 1} = K \text{ (constante)}$$

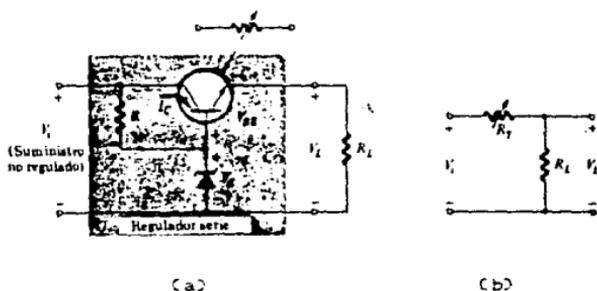


Fig 7.4 Regulador de voltaje serie con transistor.

De lo anterior se concluye que para un decremento o un incremento de la carga ( $R_L$ ),  $R_T$  debe cambiar de la misma manera y a la misma razón para mantener constante la división de voltaje.

No se debe olvidar que la regulación de voltaje se determina mediante las variaciones en el voltaje terminal (voltaje de salida) contra la demanda de corriente de carga. Para el circuito

anterior, una demanda de corriente en aumento asociada con una reducción en  $R_L$  se traducirá en una tendencia por parte de  $V_L$  a reducirse también en magnitud. Sin embargo, si se aplica la ley de voltaje de Kirchoff alrededor de la malla de salida se obtiene:

$$V_{BE} = V_Z - V_L \quad (V_Z \text{ es fijo})$$

Una reducción en  $V_L$  (puesto que  $V_Z$  está fijo en magnitud) se traducirá en incremento en  $V_{BE}$ . Este efecto a su vez, aumentará el nivel de conducción del transistor, obteniéndose una reducción en su resistencia terminal (colector emisor).

#### - Regulador paralelo

Un regulador de voltaje típico que emplea un transistor en la configuración paralelo se muestra en la figura 7.5. Cualquier tendencia de parte de  $V_L$  a aumentar o disminuir en magnitud tendrá el efecto correspondiente en  $V_{BE}$  puesto que:

$$V_{BE} = V_L - V_Z \quad (V_Z \text{ fijo})$$

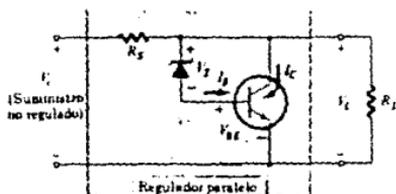


Fig 7.5 Regulador de voltaje paralelo

Si  $V_L$  disminuye, la corriente a través de la resistencia  $R_s$  se reducirá puesto que el nivel de conducción del transistor ha disminuido. La caída de potencial a través de  $R_s$  se reducirá lo cual contrarrestará cualquier tendencia de parte de  $V_L$  a reducirse en magnitud.

#### b) Reguladores de voltaje de circuito integrado (CI)

Los reguladores de voltaje comprenden una amplia gama de circuitos integrados (CIs), estos dispositivos contienen una configuración interna la cual consta de una fuente de referencia (diodo zener para el caso de los reguladores anteriores), un amplificador de error (para el caso de los reguladores discretos sería el transistor), un dispositivo de control, y una protección de sobrecarga, todo esto contenido en una sola pastilla (CI).

Aunque la construcción interna es algo diferente que la que se describió para los circuitos reguladores de voltaje discretos, la operación externa es prácticamente la misma.

Así pues, una fuente de alimentación puede ser construida en forma simple utilizando un transformador conectado a la línea de C.A., con la finalidad de aumentar o disminuir el voltaje al nivel deseado, posteriormente se rectifican con un circuito rectificador de media onda o de onda completa, se filtra el voltaje obtenido utilizando un simple condensador, y finalmente, se regula el voltaje de C.C. utilizando un regulador de voltaje CI.

#### - Reguladores de voltaje de tres terminales

Los reguladores de voltaje que proporcionan un voltaje regulado positivo sobre un rango de corriente de carga se representan esquemáticamente en la figura 7.6. El regulador de voltaje tipo CI se alimenta a través de un voltaje no regulado,  $V_{in}$ , aplicado a una terminal, y entrega un voltaje de salida regulado,  $V_o$ , desde una segunda terminal, con una tercera conectada a tierra. Para un CI en particular, las especificaciones del dispositivo listan un rango de voltajes sobre el cual el voltaje de entrada puede variar para mantener el valor de la salida  $V_o$  regulado, sobre un rango de corriente de carga, lo

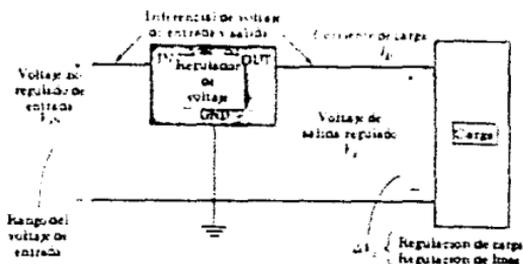


Fig. 7.6 Representación a bloques de un regulador de voltaje de tres terminales

Las especificaciones del dispositivo también listan la variación del voltaje de salida,  $V_o$ , que resulta de cambios de la corriente de carga (regulación de carga) así como de cambios en el voltaje de entrada (regulación de línea).

1. Regulador de voltaje fijo. Se les llama fijos porque entregan un sólo valor de voltaje para el cual fueron diseñados. Por otro lado, también existen reguladores de voltaje variable los cuales pueden ser ajustados mediante diversos métodos para entregar diferentes voltajes regulados.

Un grupo de reguladores de voltaje positivos es la serie 78XX, que proporciona voltajes fijos desde 5V hasta 24V de C.D.. La figura 7.7(a) muestra como se pueden conectar estos reguladores. Un voltaje de C.D. rectificado, filtrado y no regulado es la entrada,  $V_{IN}$ . Los capacitores conectados de la entrada a tierra y de la salida  $V_O$  (voltaje regulado) a tierra ayudan a mantener el voltaje C.D. en su valor nominal y adicionalmente ayudan a filtrar las variaciones de voltaje a cualquier frecuencia elevada.

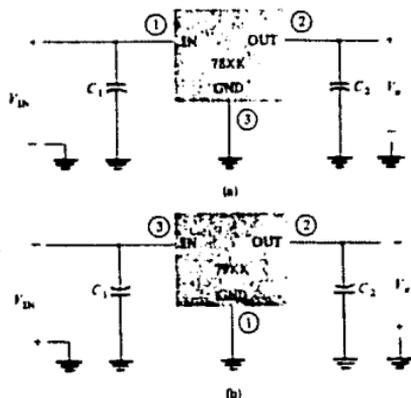


Fig 7.7 (a) Regulador de voltaje positivo de la serie 78XX  
(b) Regulador de voltaje negativo de la serie 79XX.

Como se puede observar en la figura 7.7(a), el voltaje de salida se encuentra disponible para conectarlo a la carga. La tercera conexión (terminal 3) es la referencia del regulador  $C1$  o la tierra del circuito electrónico al cual se esta energizando. Cuando se selecciona el voltaje de salida regulado fijo deseado, los dos dígitos después del prefijo 78 indican el voltaje de salida del regulador. La tabla 7.1 muestra algunos datos típicos.

Los reguladores de voltaje negativos se encuentran disponibles en la serie 79XX, la cual proporciona una serie de  $C1$ 's similares a la serie 78XX pero que operan a voltajes negativos, proporcionando un voltaje de salida negativo regulado. La tabla 7.2 muestra la serie 79XX de reguladores de voltaje fijos negativos, sus correspondientes voltajes regulados.

Tabla 7.1 Reguladores de voltaje positivos de la serie 78XX.

Número de parte CI	Voltaje positivo regulado	Máximo $V_{in}$
7805	+5 V	7.1 V
7808	+6 V	8.15 V
7809	+8 V	10.5 V
7810	+10 V	12.5 V
7812	+12 V	14.6 V
7815	+15 V	17.7 V
7818	+18 V	21 V
7824	+24 V	27.1 V

Tabla 7.2 Reguladores de voltaje negativos de la serie 79XX.

Número de parte CI	Voltaje de salida regulado	Máximo $V_{in}$
7905	-5 V	-7.3 V
7906	-6 V	-8.4 V
7908	-8 V	-10.5 V
7909	-9 V	-11.5 V
7912	-12 V	-14.6 V
7915	-15 V	-17.7 V
7918	-18 V	-20.8 V
7924	-24 V	-27.1 V

Los reguladores de voltaje también se encuentran disponibles en configuraciones tales que permiten al usuario ajustar el voltaje de salida al valor regulado deseado. El regulador de voltaje variable LM317, por ejemplo, puede ser operado con voltaje de salida regulado en cualquier posición sobre un rango de voltaje desde 1.2V hasta 37V. La figura 7.8 muestra una conexión típica utilizando el CI LM317.

La selección de las resistencias  $R_1$  y  $R_2$  permite ajustar la salida a cualquier voltaje deseado sobre el rango de ajuste (1.2V a 37V). El voltaje de salida deseado puede calcularse de la siguiente manera:

$$V_o = V_{REF} \left[ 1 + \frac{R_2}{R_1} \right] + I_{ADJ} R_2$$

con valores típicos de:

$$V_{REF} = 1.25V \quad \text{y} \quad I_{ADJ} = 100\mu A$$

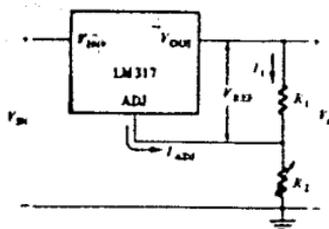


Fig 7.8 Conexión del regulador ajustable LM317.

#### 7.4. - Reguladores de conmutación.

Los reguladores serie son muy populares y satisfacen la mayor parte de las necesidades de regulación de voltaje. Su gran desventaja es la disipación de potencia del transistor de paso. Conforme la corriente de carga se incrementa, el transistor de paso tiene que disipar mayor potencia, lo cual implica disipadores de calor más grandes. Debido a esto, los reguladores serie tienden a ser voluminosos. Una forma para resolver este problema es usar un *regulador de conmutación*, el cual puede producir corrientes de carga grandes con mucho menor disipación de potencia en el transistor de paso.

La figura 7.9 ilustra los elementos básicos implicados en un regulador de conmutación. Un tren de pulsos excita la base del transistor de paso; cuando el voltaje de base es alto el transistor se satura y cuando el voltaje de base es bajo, el transistor está en corte. La idea principal es que el transistor actúa como interruptor. Idealmente, un interruptor no disipa potencia cuando está cerrado o abierto; en realidad, el transistor interruptor no es perfecto, por lo que disipa una cantidad de potencia, pero es mucho menor que la que disipa un regulador serie.

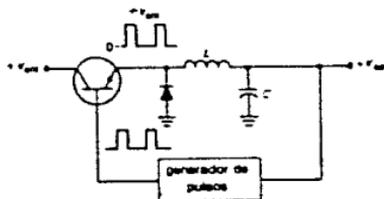


Fig. 7.9 El transistor actuando como interruptor.

Como se puede apreciar en la figura anterior, existe un diodo conectado de emisor a tierra; esto es necesario debido al voltaje de inversión inductivo<sup>2</sup>. El inductor tratará de mantener constante la corriente que fluye a través de él. Cuando el transistor entra en corte, el diodo conduce para mantener una trayectoria para la corriente que circula a través del inductor. Sin el diodo, la inversión inductiva produciría suficiente voltaje inverso para destruir el transistor.

El ciclo de trabajo o factor de utilización  $D$  se define como la razón entre el tiempo de encendido o conducción  $W$  y el periodo  $T$ . Al controlar el ciclo de trabajo en la salida del generador de pulsos, se controla el ciclo de trabajo del voltaje de entrada al filtro LC. Idealmente, este voltaje de entrada varía de 0 a  $V_{ent}$ , como se muestra. Aunque es casi obsoleto el filtro LC en las fuentes de alimentación comunes, el filtro LC en los reguladores de conmutación es muy popular puesto que la frecuencia de conmutación es por el orden de 20 KHz. Esto implica que pueden utilizarse un inductor y un capacitor pequeños. La salida del filtro LC es un voltaje de C.D. con un rizo muy pequeño. Este voltaje de salida depende del ciclo de trabajo, y está dado por:

$$V_{out} = DV_{ent}$$

El voltaje de salida se retroalimenta al generador de pulsos y en la mayor parte de los reguladores de conmutación, el factor de utilización  $D$  es inversamente proporcional al voltaje de salida. Si el voltaje de salida trata de aumentar, el ciclo de trabajo disminuye, esto significa que los pulsos aplicados al filtro LC serán de menor duración y su salida disminuirá.

## 7.5.- Respaldo de energía.

Existen tres formas para que un usuario pueda estar seguro que su sistema electrónico (ya sea digital o analógico) tenga una buena fuente de alimentación. Estas tres formas difieren básicamente en costo y la selección de una de ellas debe ser en función de la complejidad del problema para el cual está destinado el sistema digital. Si el problema es solo ruido eléctrico en la línea de alimentación de C.A. generado por dispositivos de conmutación (como máquina de escribir, impresoras, etc.) los cuales estén cerca de la fuente de alimentación, entonces se recomienda el empleo de un transformador de aislamiento. Dicho transformador debe ser de construcción especial para tener un blindaje mayor en los devanados primario y secundario del mismo para proveer un aislamiento máximo.

<sup>2</sup> Voltaje de inversión inductivos. Es la tendencia que tienen los inductores de descargar su energía en el sentido opuesto en que fueron cargados.

Cuando la línea, además de presentar ruido eléctrico varía mucho en cuanto a la amplitud ya sea para un alto voltaje o bien un bajo voltaje (malta regulación de línea), entonces será necesario usar un regulador de voltaje. Dichos reguladores, además de proteger contra transitorios ocasionados por rayos o por encender o apagar algún motor (inductancias), acondicionan (limpian) la línea de cualquier ruido eléctrico y regulan la línea para que a la salida del regulador de voltaje siempre exista un voltaje regulado (por ejemplo 120V±5%). Así pues, estos reguladores son muy usados para proteger a equipos electrónicos que van desde televisiones hasta computadoras muy sofisticadas.

Para el caso de ausencia de energía eléctrica, ya sea instantánea o por lapsos de tiempo indefinido, el uso de los sistemas de energía continua (SPS<sup>3</sup>) es la solución a este problema. Estos equipos consisten de un cargador de batería, una batería y un convertidor de C.D. a C.A. (inversor). El sistema a respaldar estará energizado constantemente ya sea por la línea de C.A. o bien por el inversor obteniendo la energía de las baterías. Cuando regresa el suministro de la línea de C.A., el SPS volverá a alimentar al equipo de respaldo (computadora) otra vez mediante la línea de C.A. y por otro lado se empezarán a cargar las baterías.

Es importante considerar que existen dos tipos de sistemas de energía continua. El primero es el conocido como ON-LINE (UPS<sup>3</sup>) el cual opera continuamente, esto quiere decir que siempre está operando la etapa del inversor (al mismo tiempo que se están cargando las baterías), mientras que el segundo tipo es el conocido como STAND-BY (SPS). En este segundo tipo de equipos, el inversor no funciona hasta que desaparece el suministro de energía eléctrica. Cuando ocurre la ausencia de este suministro, entonces se dice que el equipo transfiere al inversor. Para el caso del segundo tipo de sistemas de energía es de suma importancia tener en cuenta el tiempo de transferencia (tiempo en que entra en operación el inversor) ya que si este es mayor a 8ms (medio ciclo de la onda de C.A.) entonces se podrá perder la información de algunos circuitos, por ejemplo las memorias.

Existen en el mercado diferentes fabricantes de esta clase de equipos. Una de las más comunes y confiables es la marca PARSEC. Esta marca cuenta con una línea de reguladores acondicionadores de línea, sistemas de energía continua y sistemas de energía continua regulados, estos últimos cuentan con un regulador de voltaje integrado al sistema de energía continua. Las características de estos equipos se muestran en el apéndice B.

3 SPS Stand-By Power Supply  
UPS Uninterruptible Power Supply

## Bibliografía

- Albert Paul Malvino  
Principios de Electrónica  
Ed. McGraw Hill
- Microprocesadores y microcomputadoras y Sistemas de  
Derivación para Fuentes de Potencia  
Texas Instruments Incorporated
- Robert Boylestad Louis Nashelsky  
Electrónica Teoría de Circuitos  
Ed. Prentice Hall
- Linear Databook  
National Semiconductor 1982

# CAPITULO 8

## LIMITANTES DE DISEÑO

Antes de estipular las condiciones que delimitan el diseño del prototipo, se comentarían los puntos más importantes del proceso de la diálisis peritoneal.

### B.1.- Proceso de la diálisis peritoneal.

Existen máquinas comerciales que realizan la función de dializar pacientes con insuficiencia renal crónica. Estas cuentan con dispositivos especiales para controlar el proceso dializante, el cual básicamente se divide en tres etapas:

- 1) Calentamiento del dializato.
- 2) Proceso de llenado y control del tiempo de permanencia del dializato en la cavidad peritoneal del paciente.
- 3) Proceso de drenado del dializato de la cavidad peritoneal.

A continuación se presenta un breve resumen de cada uno de estos tres puntos.

1) Calentamiento del dializato. Es el proceso mediante el cual se eleva la temperatura del dializato hasta aproximadamente  $45^{\circ}\text{C}$  de manera que al ingresar al cuerpo del paciente, el dializato no cause molestias al estar frío o caliente en exceso. Es de suma importancia evitar que la temperatura del dializato sobrepase una temperatura aproximada de  $45^{\circ}\text{C}$  ya que de ser así se podrían ocasionar serias molestias o, aun peor, que la sangre empiece a coagularse. Por otra parte, si el dializato se encuentra a una temperatura más baja que la temperatura interna del paciente ( $36^{\circ}\text{C}$ ), este solo sentirá una sensación fría en el abdomen.

2) Proceso de llenado y control del tiempo de permanencia. Es la etapa en la cual comienza el proceso de limpieza de la sangre. El dializato ingresa a la cavidad peritoneal y el tiempo que este permanezca dentro de dicha cavidad, tendrá influencia directa en la efectividad del proceso de la diálisis. Este tiempo debe ser controlado por el operario de la máquina; por lo que dicho tiempo debe ser calculado previamente por un médico o bien por una enfermera. El tiempo de permanencia  $t_p$  varía según el paciente en rangos que van desde 30 hasta 50 minutos.

1. Se toma como referencia la temperatura de  $45^{\circ}\text{C}$  ya que se deben considerar pérdidas de temperatura en el recorrido que va desde la plancha calefactora hasta el abdomen del paciente.

3) Proceso de drenado del dializado. El tiempo de drenado  $t_d$  es el tiempo permitido para que el volumen de dializado que ingresó al paciente salga en su totalidad, ya que de no ser así, puede haber molestias posteriores en el paciente. Este tiempo varía desde 10 hasta 30 minutos dependiendo de las características del paciente.

El llenado y el drenado del paciente se realizan únicamente por gravedad, por lo que los recipientes que contienen al dializado se deben encontrar lo más alto posible con respecto al paciente. Aunque para fines prácticos esta altura está limitada por factores físicos de los operarios. Existe una bolsa la cual capta el dializado que sale del paciente, encontrándose a menor altura de este, a fin de aprovechar también la fuerza de gravedad al desalojar el líquido.

Para los procesos de permanencia y drenado, existe en la máquina un subsistema orientado a controlar el volumen que entra y sale del paciente a fin de indicar posibles fallas en el proceso y, además, para permitir el correcto funcionamiento del llenado y drenado. Como se mencionó anteriormente, el volumen que entra es diferente para el caso de un niño que para un adulto, de manera que es necesario cuantificar la cantidad de líquido que ingresará al paciente para así tener un control preciso del volumen de líquido que deberá salir de dicho paciente. La mayoría de las máquinas comerciales efectúan esta acción por medio de una báscula. Esta báscula se calibra para cada caso y solo deja ingresar al paciente el peso seleccionado de dializado. Cuando el líquido sale, esta misma báscula verifica que la cantidad que sale sea la misma que entró. Existen algunas máquinas que cuantifican la diferencia del volumen que entra con respecto al que sale, a esta diferencia se le conoce como balance. Se llama balance positivo cuando el volumen de drenado es mayor que el que entró y balance negativo cuando el volumen de drenado es menor al que ingreso al paciente.

Por otro lado, dado que el medio de entrada al paciente está constituido por mangueras, debe existir un sistema de obturación que impida al dializado salir o entrar de la cavidad peritoneal en cualquier instante. A este subsistema se le conoce como modulo de obturación, el cual es un sistema mecánico constituido de levas, una flecha y un motor el cual puede ser del tipo de corriente directa, de corriente alterna o de pasos.

Además, existe un sistema de alarmas para avisar de cualquier mal funcionamiento de la máquina. Generalmente las máquinas de diálisis peritoneal cuentan básicamente con tres alarmas las cuales son:

1) Alarma de Sobrecalentamiento. Esta alarma se activa cuando la temperatura del dializado excede los 45°C ya que como se mencionó anteriormente, es muy delicado que la temperatura del dializado sobrepase la temperatura corporal. Para el supuesto caso de una temperatura baja del dializado, este no causaría problemas al paciente por lo que en esta condición no se activa la alarma.

2) Alarma de drenado de paciente. Esta alarma se activa cuando el volumen de liquido que sale del paciente no está dentro de la tolerancia permitida. Esto es, el volumen de salida puede variar  $\pm 10\%$  del volumen de entrada.

3) Alarma de bloqueo del sistema. Esta se activa cuando exista alguna obstrucción en alguna de las mangueras de drenado o llenado del sistema, siendo ocasionada por algun factor externo. Dicha alarma es util cuando inadvertidamente se obturan las mangueras al poner por ejemplo una silla sobre ellas; lo que impide parcial o totalmente la circulacion del dializato.

## 8.2.- Requerimientos de diseño.

El diseño del controlador para este sistema debe apearse a las condiciones de funcionamiento anteriormente descritas. En la tabla 8.1 se mencionan las limitantes especificas del proyecto.

Tabla 8.1

### - Sistema de Control

El sistema de control debe ser capaz de realizar operaciones aritméticas con el fin de obtener balances así como tener un cronometro para el control de tiempos. Este sistema de control debe también ser capaz de manejar diversas señales analógicas mediante un convertidor analógico digital.

### - Memoria

El sistema debe de tener una memoria del tipo ROM (Read Only Memory), en cualquiera de sus versiones, con el fin de tener grabado el programa del sistema de control; por otro lado, debe tener también una memoria del tipo RAM (Random Access Memory) con el objeto de almacenar temporalmente datos.

### - Entradas

1) Se debe contar con una báscula (la cual no necesariamente debe ser de precisión) para la medición del volumen del dializato. Esta deberá tener un rango de medición de 0 a 3Kgs, con una resolución de 100ml y una precisión de  $\pm 10$ ml; dicha medición deberá ser acondicionada para tener compatibilidad con el sistema de control.

2) Para poder programar al sistema se debe tener un teclado con la característica de ser a prueba de líquidos. Dicho teclado deberá contar con 15 teclas, 5 para funciones y 10 para dígitos de 0 al 9.

3) Señal de sobretemperatura; la cual avisará al sistema de control en caso que la temperatura sobrepase los 45°C y así activar la alarma audible y visual.

#### - Salidas

1) Módulo de obturación. Este debe ser un sistema mecánico capaz de permitir o restringir el paso del dializado según sea la etapa del proceso. El sistema de obturación debe manejar cuatro mangueras agrupadas de dos en dos, cumpliendo el siguiente ciclo:

Mangueras	1 2	3 4
	OCCLUSOR 1	OCCLUSOR 2
DRENADO	ABIERTO	CERRADO
ANTES PERMANENCIA	CERRADO	CERRADO
PERMANENCIA	CERRADO	ABIERTO
ANTES DRENADO	CERRADO	CERRADO

2) Alarmas. Estas deberán de ser de dos tipos:

a) Audible. La alarma audible, consiste en una pequeña bocina la cual será la misma para cualquiera de los tres casos de alarmas descritos anteriormente.

b) Visual. La alarma visual la cual consiste en indicadores luminosos constituidos por leds; deberá ser considerada por separado en cada caso, una asignada para cada señal de alarma. Se requieren tres indicadores visuales de alarma.

3) Indicadores luminosos los cuales deberán indicar la función que se está realizando. Se requiere ocho indicadores luminosos.

4) Displays. Deberán usarse ocho displays; tres para indicar el volumen, tres para el tiempo y dos para indicar el número de ciclos. Estos displays deberán de ser de siete segmentos y punto decimal.

Una vez conocidos los parámetros que intervienen en el proceso se podrá decidir la manera de controlarlos. Del análisis de los requerimientos de la máquina, se observa que el problema a

resolver es básicamente secuencial<sup>2</sup> (desde el punto de vista de la lógica digital), por lo que ahora se puede decidir que elementos se utilizarán para resolverlo. Así pues, se cuenta con cuatro posibles opciones a escoger en el diseño:

- 1) Un controlador de aplicación específica basando su arquitectura en componentes discretos (flip-flops, compuertas, latches, etc.).
- 2) Un secuenciador.
- 3) Un microcontrolador de propósito general.
- 4) Un sistema basado en un microprocesador.

Para poder seleccionar la solución más viable, primero se tienen que revisar las exigencias de funcionamiento de la máquina. Una de éstas es hacerla capaz de manejar balances, tanto parciales como generales del dializado que ingresa y sale del paciente (recordando que el balance es la diferencia del dializado que ingresa al paciente menos el dializado que sale de éste); también, como se menciona en la tabla 8.1, existe la necesidad de procesar ciertas señales analógicas (volumen del líquido) y convertirlas a su equivalente digital con el fin de cuantificarlas. Estas dos necesidades obligan a tener cierta capacidad de procesamiento aritmético dentro del controlador. A continuación se analizan cada una de las cuatro opciones mencionadas anteriormente.

El controlador de aplicación específica es una solución adecuada al problema, ya que su diseño tiene la finalidad de satisfacer las necesidades específicas del proyecto, y su uso resulta eficiente, puesto que solo se usará para su construcción los bloques absolutamente necesarios para su funcionamiento. Las desventajas que presenta esta opción son las dificultades que tendría el controlador para modificaciones posteriores, ya sea para mejoramiento o para manejar alguna otra señal no contemplada dentro del esquema de diseño inicial. Otro punto en contra es la dificultad que presenta el implantar una unidad aritmética con componentes discretos.

La solución usando un secuenciador presenta ventajas sobre el controlador de propósito específico en cuanto a reducción en número de partes requeridas y a la reducción del espacio necesario en una tableta de circuito impreso, así como la facilidad de reprogramación de las funciones a ejecutar, pero nuevamente salta a la vista la necesidad de incluir una unidad aritmética dentro de este esquema.

2 Se dice que el sistema es secuencial debido a que el proceso no entra en iteraciones interminables, ya que éste estará programado para operar cierto tiempo realizando el proceso paso a paso.

El uso de un microcontrolador presenta la ventaja de incluir en su conjunto de instrucciones, operaciones aritméticas que facilitan la implantación del diseño. Sin embargo, dichas operaciones no se encuentran al nivel que se requiere para el sistema debido a que se deben realizar operaciones complejas; así pues, el propósito del microcontrolador no es ejecutar funciones aritméticas sofisticadas. Esto no quiere decir que se necesiten operaciones de punto flotante o de complejidad semejante; de hecho, un microcontrolador puede satisfacer las necesidades para el diseño siempre y cuando contara con las características aritméticas requeridas. Cabe aclarar que, en este caso, el costo del microcontrolador sería mayor al de las dos primeras opciones. Un problema que también se presenta en el uso de un microcontrolador es el difícil acceso al soporte técnico de las casas representantes (Ej. Intel y Motorola).

Por su parte, un microprocesador de propósito general ofrece cumplir con todos los requerimientos del diseño sin las desventajas presentadas por los esquemas anteriores, dando la opción de especializar tanto como se requiera el diseño. Es por esto que el diseño tendrá como elemento básico de control a un microprocesador.

Ahora surge la pregunta ¿Cuál es el microprocesador que se utilizará y qué circuitos de apoyo serán los más apropiados para este sistema? Se presenta a continuación un breve resumen de las diferentes capacidades deseables para un sistema de este tipo, además de los posibles circuitos de apoyo con el fin de tener una base para poder seleccionar los componentes del sistema.

- Es conveniente contar con la unidad central de proceso en forma integrada en un solo circuito, el cual, tiene una longitud de palabra que puede variar entre 4, 8, 16 y 32 bits.
- Se presentará, frecuencias de oscilación del procesador que varían de 1 a 12MHz.
- Posibilidad de manipular dentro de la memoria principal aquella del tipo RAM, cuya longitud puede variar entre 1 y 64 Kilobytes.
- Posibilidad de manipular dentro de la memoria principal aquella del tipo ROM, cuya capacidad varía generalmente entre 2 y 128 Kilobytes. En estos casos son de estado sólido.
- Capacidad de manipular señales analógicas, las cuales serán convertidas a digitales para ser procesadas por el sistema. El rango de voltajes a la salida del convertidor deberá ser entre 0 y +5 voltios, con el fin de ser compatible con los niveles de las señales internas del sistema.
- La resolución de los convertidores podrá ser ya sea de 8 o 16 bits.

- Es conveniente contar dentro del sistema con la presencia de un cronometro programable que comúnmente se denomina *timer*.
- Se debe proveer, en la mayoría de los casos, un suministro eléctrico adecuado de + 5V de C.D.; tomando en cuenta que en ocasiones, algunos dispositivos requieren de un suministro adicional de ± 12V, ± 24V, y ± 5V. Es conveniente que el sistema proporcione salidas con estos mismos valores de voltaje por si son requeridas en el medio que van a actuar los dispositivos.
- Es conveniente que el sistema presente una salida como punto de referencia, el cual se conoce comúnmente como tierra.
- Es conveniente que los subsistemas de adecuación de las señales que provienen de ciertos transductores, así como de las que se dirigen hacia los actuadores, sean considerados como elementos independientes del sistema principal; ésto es, se pueden diseñar como interfaces adicionales del sistema.
- Por último, debe tomarse en cuenta factores como facilidad de desarrollo, consumo de potencia, poder de procesamiento, velocidad y costo.

En base a los apartados anteriores, referentes a los requerimientos del sistema, se puede observar que básicamente la selección de la opción a implantar considera la necesidad de procesar aritmeticamente algunos parámetros dentro de las acciones de control del sistema. De aquí que casi cualquier microprocesador ejecute el trabajo asignado sin problema alguno. Pero se debe tener en cuenta el poder de procesamiento que tienen estos dispositivos, por lo cual sería ilógico pensar en un microprocesador de 32 bits para asignarlo al sistema. A lo que se debe llegar es a una solución satisfactoria en requerimientos tanto electrónicos (hardware) como de programación (software). De los microprocesadores actualmente disponibles en el mercado existe una gran variedad, tanto en precio, como en complejidad de manejo. Retomando el hecho de que el problema a resolver es básicamente secuencial con operaciones aritméticas envueltas en el proceso, se descarta a los grandes microprocesadores de 16 y 32 bits, cuyo poder de procesamiento está más allá de las necesidades de este proyecto. Además, la mayoría de estos microprocesadores requieren de circuitos de apoyo para funcionar dado que presentan ciertas características de diseño como lo es el tener el bus de direcciones multiplexado, generadores de reloj especiales, etc.

Por lo que respecta a los microprocesadores de 4 bits, no serán considerados, ya que aunque pueden servir, actualmente no son de lo más usual, desde el punto de vista tecnológico y comercial, además de que presentan dificultades de manejo en hardware semejante a las de los dispositivos de 16 y 32 bits.

Así pues, sólo resta la opción de seleccionar a un

microprocesador de 8 bits. Comenzando con la familia Intel, cuyos procesadores de 8 bits son el 8080 y el 8085; despues Motorola ofrece el 6800. Muy parecido a este ultimo en lo que a funcionamiento se refiere, se encuentra el 6502 de Mostek, y por ultimo el Z80 de Zilog.

El IAPX8080 fue el primer microprocesador de 8 bits en ser producido comercialmente a gran escala. Introducido en 1973, este procesador marco el inicio de la computacion personal al ser incorporado como unidad central de proceso en la primera computadora orientada a aficionados de la computacion y la electronica, la Altair 8080. Con 19 años de edad, y en contra de lo que se pudiera pensar, este dispositivo sigue vigente en diseños de pequeños controladores, básicamente por el gran apoyo que tuvo tanto en hardware como en software (basta decir que el primer sistema operativo para computadoras personales, el CP/M, fue creado para este microprocesador). Pero su manejo presenta dos desventajas importantes: el tener un solo nivel de interrupciones implantado, y tener que usar un generador de reloj especial y un controlador de bus ya que las señales de control no son accesibles para el usuario de otro modo. El IAPX8085 es una versión mejorada del 8080 pero presenta una de las desventajas anteriores, que es el tener la necesidad de usar un controlador de bus. De los tres microprocesadores restantes, el que más suge comercial tuvo fue el Z80, aunque tambien el 6502 y el 6800 fueron escogidos por algunos constructores de equipo para computadoras. Estos tres dispositivos no presentan las desventajas de tener que usar un controlador de bus para funcionar (aunque el 6800 necesita de un generador de reloj especial para funcionar ya que requiere uno de dos fases). De los tres, el que ofrece mayor versatilidad tanto en implantación electrónica como en programación, así como disponibilidad y bajo costo es el Z80 de Zilog. Por estas razones, además de que se cuenta con las bases requeridas para el diseño del sistema, se selecciona el microprocesador Z80 para el desarrollo de este proyecto.

Una vez seleccionado el microprocesador para este sistema, se deben contemplar diversos factores tanto para el desarrollo como para la implantación. Una vez decidida que la alternativa para el proyecto es el empleo de un microprocesador, se debe analizar que técnica de desarrollo se seguirá tanto en el aspecto electrónico así como en el de programación. A continuación se mencionan algunos criterios que deben tomarse en cuenta para el desarrollo e implantación del sistema.

#### Exactitud

La complejidad del sistema tiende a ser una función exponencial de la exactitud demandada. Además, factores sentimentales tales como el entusiasmo del cliente o aun el del diseñador, pueden alterar, entre otras cosas, el costo y la viabilidad, del proyecto.

#### Rango y resolución

Esto se refiere a consideraciones de valores máximos y

mínimos, con que frecuencia ocurre un evento y por último que tan determinante es la exactitud y precisión en el costo del proyecto.

#### Factores ambientales

En esta categoría se contemplan los factores tales como la temperatura ambiente, la humedad, el ambiente eléctrico (lugares donde se acumulan cargas estáticas), etc. Estos factores deben tomarse en cuenta para el diseño de cualquier sistema ya que, por ejemplo, no es lo mismo trabajar en un ambiente donde se acumulan las cargas estáticas, razón por la cual se tendría que aterrizar el equipo (o bien poner una jaula de Faraday en un ambiente magnético) que un ambiente totalmente libre de cualquier perturbación.

#### Factores ergonómicos

Esto se refiere básicamente a que una vez que el sistema se encuentra operando, se debe evitar cualquier tipo de calibración y ajuste (como sería el ajuste de una báscula) por facilidad del operario y mantenimiento del equipo.

#### Posibles fallas

Esto involucra consideraciones de mal funcionamiento debido a la posible ausencia de energía o por la ausencia temporal de alguna señal esperada. Factores de este tipo deben tomarse en cuenta en aplicaciones delicadas tales como en el campo biomédico.

#### Mantenimiento

Esto contempla documentación, contratos de servicio e información que se le debe a entregar al usuario con el fin de que en caso de presentarse alguna falla, se tengan los papeles necesarios para dar el servicio correspondiente.

Planteado el panorama general, el siguiente paso a seguir es realizar una arquitectura adecuada para el sistema con el fin de establecer una estrategia de diseño y poder así seguir una metodología de desarrollo.

### 8.3. - Estrategia de diseño.

Antes de analizar las diferentes técnicas de desarrollo para sistemas basados en microprocesadores, se muestra en la figura B.1 un diagrama de flujo general para el desarrollo de estos sistemas, siguiendo cualquiera de las técnicas de desarrollo que a continuación se mencionan.

Para el diseño de sistemas basados en microprocesadores (o

microcontroladores). existen básicamente tres niveles de desarrollo.

El primero consiste en que una vez definido el problema, se busca algún circuito comercial que realice la función específica, como podrían ser los controladores de video, controladores de teclado, etc.; así pues, solo restaría por parte del diseñador elaborar el circuito de interface correspondiente en caso de ser necesario.

El segundo nivel, el cual se encuentra en un nivel intermedio de complejidad en lo que respecta al diseño, consiste en que el sistema puede ser configurado mediante tarjetas con funciones específicas, tales como las tarjetas de adquisición de datos o bien las tarjetas de expansión que se instalan a las computadoras. Una vez que se han seleccionado dichas tarjetas de funciones, el siguiente paso es interconectarlas en los módulos de prueba para este tipo de sistemas de desarrollo.

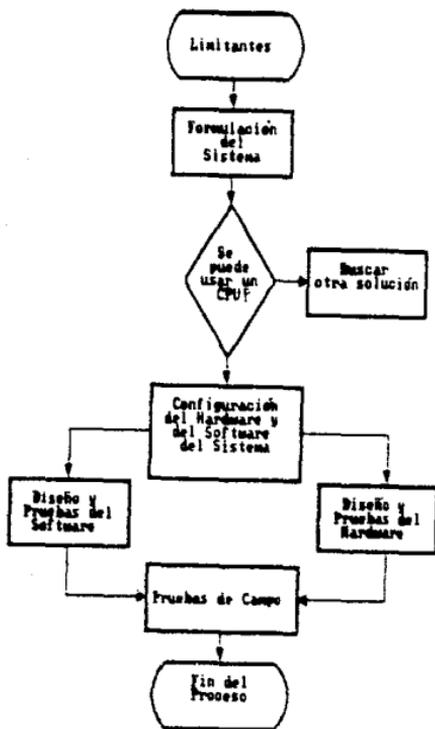


Fig 8.1 Diagrama de flujo para el desarrollo de sistemas digitales basados en microprocesadores.

Por último, se presenta el nivel fundamental para el desarrollo de la electrónica (hardware) y programación (software): dicho nivel corresponde a la estrategia conocida como Top-Down (o desarrollo descendente), como se muestra en la figura 8.2.

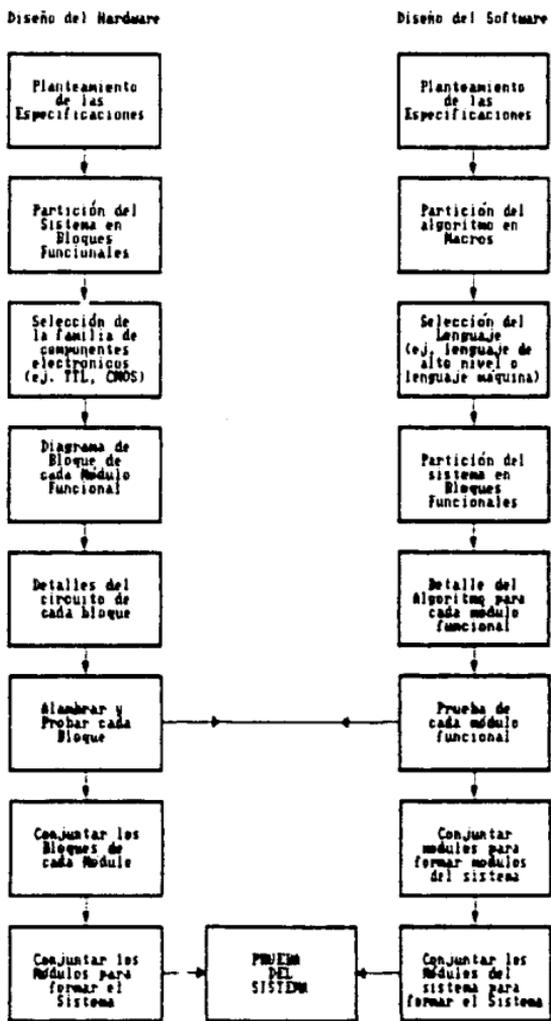


Fig 8.2 Diseño de sistemas digitales basado en la técnica descendente (Top-Down).

Mediante esta técnica, el diseño de la electrónica puede ser lento y en ocasiones caro debido a que se tiene que desarrollar toda la electrónica a nivel de componentes y no mediante bloques funcionales como podría ser ROM, RAM, convertidores, etc. Esto es, una vez definidos los bloques funcionales, se van descomponiendo en subbloques cada vez más específicos hasta llegar al desarrollo por componentes como podrían ser compuertas lógicas, elementos pasivos (resistencias), etc.

En lo que respecta a la programación (software), se desarrolla básicamente mediante la programación estructurada junto con la experiencia del diseñador. Generalmente para el desarrollo del programa se elaboran librerías de algoritmos para así simplificar la repetición de rutinas que se pudieran presentar en varias partes del programa.

Los componentes del software de un sistema, deben cumplir con el siguiente criterio de diseño:

- Velocidad. Esto es esencialmente importante en aplicaciones de tiempo real.
- Economía. Tratando de elaborar el programa lo más corto posible con el fin de usar una sola memoria o bien la de menor capacidad.
- Confiabilidad. Evitar iteraciones interminables, condiciones de overflow (sobrerango), etc.
- Flexibilidad. Facilidad de elaborar algún tipo de modificación posterior al programa como podría ser una rutina adicional.
- Ergonomía. Facilidad en su operación y manejo del sistema para que cualquier persona con una capacitación adecuada sea capaz de operar el equipo.

Además de todo lo anterior el diseñador del programa debe adoptar una estrategia sistemática de diseño. Una recomendación muy aceptada por los diseñadores de software es ir elaborando el programa a través de bloques funcionales (macros) e irlos particionando en bloques más sencillos. Así pues, mediante la elaboración de bloques funcionales y el empleo de librerías se programa con la técnica conocida como *programación estructurada*.

Una vez definidas las limitantes de diseño y los criterios más importantes para el desarrollo de sistemas digitales basados en microprocesadores, se puede ahora realizar el diseño e implantación del prototipo.

## Bibliografía

- S. J. Cahill  
Designing Microprocessor-based Design Circuitry  
Ed. Prentice Hall
- John P. Hayes  
Diseño de Sistemas Digitales y Microprocesadores  
Ed. McGraw Hill
- John B. Peatman  
Microcomputer-based Design  
Ed. McGraw Hill

# CAPITULO 9

## DISEÑO E IMPLANTACION DEL PROTOTIPO

El primer paso antes de efectuar cualquier tipo de propuesta de diseño, es el revisar la manera en que el procesador manipula la memoria y los dispositivos de entrada-salida que, en este caso, son los puertos y los dispositivos periféricos con que cuenta el sistema. Una vez efectuado lo anterior, se deben revisar tanto la lógica que relaciona a cada circuito con el procesador como las posibles relaciones que puedan guardar dos o más circuitos entre sí. Cuando ya se ha logrado estos dos pasos, el tercero consiste en efectuar un análisis de las líneas de datos, direcciones y control, tomando como referencia la lógica antes propuesta. Después de haber realizado ésto, se elabora una arquitectura general del sistema determinando todas las posibles conexiones físicas a efectuar seleccionando alguna de las técnicas para el desarrollo de sistemas basados en microprocesadores. Es importante notar que las limitantes de diseño tienen una intervención inicial al momento de proponer la lógica de interrelación y operación del sistema, ya que de no ocurrir ésto, el prototipo diseñado no las podría satisfacer.

Como se mencionó en el capítulo anterior, existen tres técnicas a seguir en el diseño de sistemas digitales. Analizando las estrategias de desarrollo, se decide elaborar el sistema empleando la técnica descendente (Top-Down) debido a su facilidad de implantación, baja posibilidad de error y la elaboración de módulos funcionales pudiendo probarlos éstos por separado para así, por último, computarlos con el objetivo de obtener como resultado final el funcionamiento total del sistema.

Una vez seleccionada la técnica para realizar el diseño e implantación del prototipo, el siguiente paso es elaborar una arquitectura general del sistema para poder realizar arquitecturas más específicas de cada bloque funcional. En la figura 9.1 se muestra la arquitectura general del sistema.

### 9.1.- Diseño electrónico.

Como se puede observar en la figura 9.1, cada bloque funcional se podrá dividir en bloques más específicos con el fin de poder diseñar cada uno de estos por separado. Como se ha mencionado, es necesario ir desarrollando al mismo tiempo el programa (software), la electrónica (hardware) del sistema con el objeto de seguir la técnica de desarrollo antes mencionada<sup>1</sup>. En el inciso 9.2 de este capítulo se menciona el desarrollo del programa.

<sup>1</sup> En la figura 9.2 se muestra el diagrama de flujo para la técnica de desarrollo Top-Down.

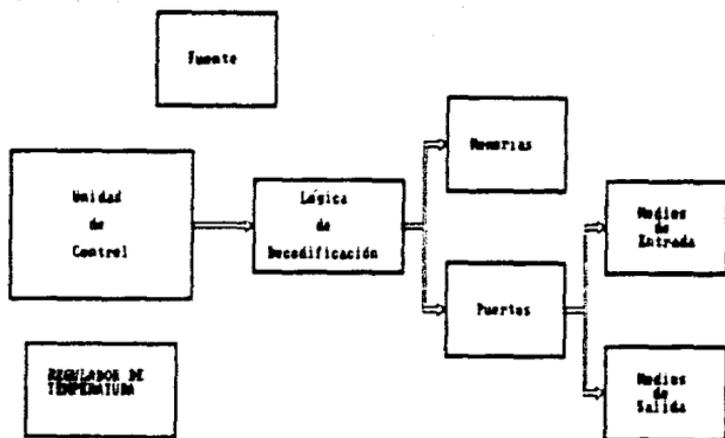


Fig 9.1 Arquitectura general del sistema de análisis peritoneal.

En la figura anterior se pueden observar los diferentes módulos que conforman el sistema los cuales son:

#### 9.1.1.- Unidad de control.

La unidad de control está constituida básicamente por los componentes que se enlistan a continuación. La figura 9.2 muestra el diagrama a bloques de la unidad de control.

- CPU
- Control de Tiempos (CTC)
- Generador de reloj del sistema

Nota: El diagrama electrónico del sistema integrando todos los bloques funcionales se presenta en el apéndice F.

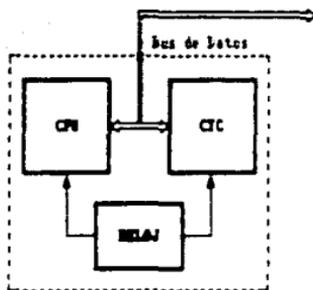


Fig 9.2 Unidad de control de sistema de diálisis peritoneal.

Como se mencionó en el inciso 8.2, la unidad central de proceso que se utilizará para este proyecto es el Z80CPU, el cual se describe a continuación.

- Microprocesador Z80CPU

El microprocesador Z80CPU fue diseñado y manufacturado originalmente por Zilog Inc.. Este circuito es un descendiente directo del microprocesador 8080 diseñado por Intel. El conjunto de instrucciones del Z80 contiene todas las del 8080 y algunas más. Además de las diferencias en instrucciones y base de tiempo, existen algunas otras, entre ellas, el programador de Z80 puede hacer uso de más registros internos y tiene más formas de direccionamiento que aquel que trabaja en 8080.

Las características electrónicas del microprocesador Z80 son:

- Reloj de una sola fase para su funcionamiento, que opere en un intervalo de frecuencia de 1 a 2.5MHz. Cabe comentar que nuevas versiones pueden trabajar con frecuencias de hasta 8MHz.
- Requiere de una sola fuente de alimentación de +5 volts de C.D..
- Mediante la señal RFSH, permite el refresco de memoria dinámica.
- Fabricación con tecnología NMOS.
- Contar con un bus de datos de 8 bits y un bus de direcciones de 16 bits, lo que implica que se pueden direccionar hasta 64K de memoria.
- Contar con entradas y salidas compatibles con tecnología TTL.

En el apéndice C se mencionan algunos datos adicionales del microprocesador Z80CPU.

#### - Control de tiempos (Z80CTC)

Como se comentó en el capítulo referente a las limitantes de diseño, es necesario un cronómetro para tener el control de los tiempos de llenado, permanencia y drenado; a fin de lograr esto, se aprovecha un circuito de soporte que es el Z80CTC.

El Z80CTC es un contador-cronómetro universal que cumple con todos los requerimientos de conteo y temporización que requieren los dispositivos basados en Z80. En el dispositivo existen cuatro canales independientes. El CPU puede configurar estos canales para operar de varias formas y condiciones según se requiera, para interconectar una amplia gama de dispositivos periféricos. En la mayoría de las aplicaciones su uso es simple puesto que se requiere de muy poca lógica de soporte.

Este circuito es fabricado con tecnología MOS, de canal N, y viene en una presentación de 28 terminales. Requiere de una sola fuente de alimentación, de +5 volts de C.D., usándose para su funcionamiento un reloj de una sola fase.

Las principales características del Z80CTC son:

- Contar con salidas y entradas compatibles con tecnología TTL.
- Poder trabajar, según sea el caso, como contador o como cronómetro.
- Contar con un registro de constante de tiempo, el cual puede ser automáticamente recargado cuando el conteo regresivo llegue a cero en cualquiera de los dos modos antes citados.
- En el funcionamiento de cronómetro, el inicio de operación de conteo puede ser por medio de un flanco positivo o negativo. La misma entrada se utiliza para modo de conteo.
- Tener tres canales con una salida de conteo en cero-tiempo terminado capaces de manejar transistores darlington.
- Contar con interrupciones las cuales pueden ser programadas para que se activen cuando llegue a cero el contador en cualquier canal.
- Manejo de una lógica de interrupción de prioridad tipo daisy-chain, para tener vectores de interrupción automáticos sin necesidad de lógica externa.

En el apéndice D se mencionan algunos datos adicionales del Z80CTC.

- Generador de reloj del sistema

La señal de reloj requerida por el Z80CPU y el Z80CTC, es generada por un oscilador controlado por un cristal de cuarzo. Dicho oscilador está constituido por tres compuertas inversoras de un circuito 74LS04. Por medio de la red constituida por dos capacitores y dos resistencias se logra la retroalimentación requerida para hacer oscilar el arreglo, el cual a su salida dará la frecuencia del cristal, que para este sistema es de 2MHz. Por otro lado, esta señal es dividida por un contador (74LS193) entre cuatro para obtener la frecuencia requerida por el convertidor analógico-digital.

9.1.2.- Lógica de decodificación.

Como parte de la secuencia de diseño, es importante mencionar que el microprocesador Z80 basa su funcionamiento en un mapa de memoria que es compartido por las memorias RAM y EPROM, y por un mapa de puertos que es compartido por los puertos de entrada/salida.

En la figura 9.3 se muestra el diagrama a bloques del módulo correspondiente a los decodificadores. Por otro lado, antes de efectuar el mapa de memoria y el mapa de puertos, es importante hacer notar que debido a los modos de direccionamiento con que cuenta el microprocesador, es conveniente que al inicio de dicho mapa se encuentre ubicada la memoria EPROM mientras que al final se situará a la del tipo RAM. En la tabla 9.1 se muestra el mapa de memoria y puertos del sistema.

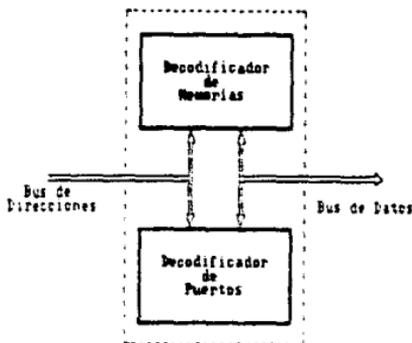


Fig 9.3 Diagrama a bloques del módulo de los decodificadores

Tabla 9.1

Mapa de memoria

Circuito	Dirección
EXPRON	0000h 1FFFh
SRAM	2000h 27FFh
ABC	2800h 2BFFFh

Mapa de puertos

Puerto	Dirección
TECLADO	20h 23h
SEMENTOS	24h 27h
DIGITOS	28h 2Bh
LEDs	2Ch 2Fh
OUT	30h 33h
CTC	34h 37h

Una vez realizado el mapa de memoria y de puertos, se propone la lógica que decodifica las direcciones generadas por el microprocesador, a fin de habilitar las diferentes secciones de dicho mapa (tanto para las memorias como para los puertos de entrada-salida). Al tomar en cuenta las limitantes de diseño en cuanto a memorias y puertos, se llega a la conclusión de que el mejor medio para lograr un manejo adecuado del mapa de memoria y puertos de E/S es contar con la presencia de decodificadores como parte fundamental de la lógica de decodificación.

Los decodificadores que serán empleados son básicamente los del tipo de tres entradas con ocho salidas, esto es 3 X 8, debido a que sólo se necesita, para el caso del decodificador de memoria, tres accesos (los restantes serían para el caso de una posible expansión de memoria): uno para la EEPROM, otro para la RAM y por último uno para el convertidor analógico digital D/A que este último se accederá como memoria. Para el caso de los puertos de E/S sólo se necesita acceder a cinco puertos y al CTC, por lo que con un decodificador de este tipo es suficiente.

En la figura 9.4 se puede apreciar la distribución que se propone para el arreglo de los decodificadores, el cual consta de tres secciones. Por otra parte, las letras "A" que se ilustran en la figura representan cada una de las líneas de direcciones provenientes del microprocesador, siendo esta la razón por la cual cuentan con un subíndice numerado. También se indica cuáles de estas líneas se conectarán directamente al canal de direcciones de algunos dispositivos mientras que las restantes serán empleadas en apoyo a la lógica de decodificación mediante las expresiones booleanas adecuadas.

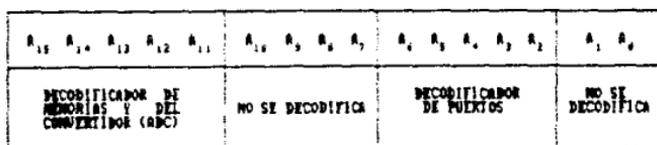


Fig 9.4 Arreglo general de los decodificadores.

Los decodificadores que se emplearán son del tipo 74LS138. En el apéndice 3 se muestra la configuración del circuito.

### 9.1.3.- Memorias.

Siguiendo con la partición en bloques funcionales, la figura 9.5 muestra el diagrama a bloques correspondiente al módulo de memorias. Como se puede observar, en el diagrama a bloques está contemplado el convertidor analógico-digital debido a que se decodifica como memoria, mediante el puerto de memorias, aunque en realidad el convertidor analógico-digital es un acondicionador de las señales de entrada.

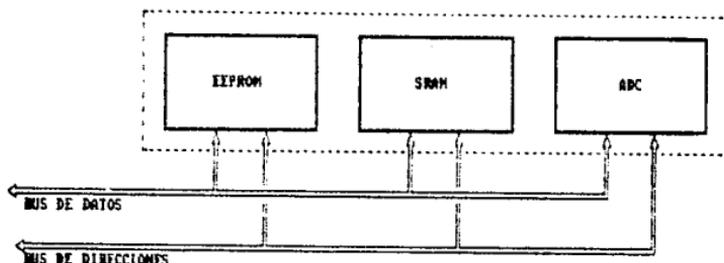


Fig 9.5 Diagrama a bloques del módulo de memoria.

#### - Memoria EEPROM

Dada la necesidad de almacenar algunos datos (importantes para el médico y el paciente) permanentemente en el proceso de la diálisis, se debe tener un medio que conserve esta información al momento de apagar la máquina, de tal forma que al volver a encenderla, se tenga nuevamente la información de interés para el usuario. Los métodos clásicos de conservar información de manera no volátil (que no se pierda al momento de apagar el sistema) son:

- 1) A través de medios magnéticos como discos duros, discos flexibles o cintas magnéticas.
- 2) Utilizar memorias ROM (Read Only Memory) y RAM (Random Access Memory) con suministros autónomos ("pilas").

El primer caso es útil cuando se requiere almacenar gran cantidad de información y el costo no es un problema a considerar. Por otro lado, el usar memorias ROM implica que los datos en ellas almacenados no van a ser alterados posteriormente. Lo que se necesita es un punto medio entre estas dos alternativas. En los sistemas digitales que necesitan mantener información permanente, es usual utilizar memorias del tipo RAM estáticas asistidas con respaldo de energía, el cual generalmente corresponde a baterías de litio. El usar baterías, de un modo u otro, implica cierto

grado de mantenimiento de estas, por lo que en un hospital esto puede representar un problema al substituirse la necesidad de baterías.

Una nueva tecnología que se está usando con bastante éxito para mantener información permanentemente es por medio de memorias del tipo EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory). Por otro lado, las memorias EEPROM son el medio comúnmente utilizado para información no volátil, esto es, no se pierde cuando en una localidad se es que no se borra antes la memoria por completo. Para borrarla, es necesario exponerla a luz ultravioleta. Luego para grabar es necesario contar con una fuente de voltaje que puede estar en el rango de 10 a 25 Volts. Las memorias EEPROM no necesitan luz ultravioleta para borrar la información, sino que con el mismo pulso que se programan se puede borrar la localidad que se desea.

La primera generación de este tipo de memorias requería de un alto voltaje para programar y borrar. Al desarrollarse esta tecnología se fueron al mercado memorias que se graban y se borran con una fuente de 5 volt. El fabricante EXCEL, por ejemplo, ofrece memorias que se pueden grabar en 10 ms y borrar en 8ms. Las capacidades varían desde 255 bytes hasta 8194 bytes, y cada localidad se puede utilizar hasta 1000 veces promedio. En sistemas que requieren almacenar una gran cantidad de información y varios cientos de veces por segundo existe un verdadero problema. Para este caso, solo se avanzarán unos cuantos cientos de bytes, solo cuando se requiere el equipo de análisis. Así pues, se utilizará la memoria 2866A-25 de EXCEL que es una memoria de 8K y es del tipo EEPROM que viene en un encapsulado de 26 terminales, la cual opera con 5 volts y cuenta con un tiempo de acceso de 250 ns. En esta misma memoria se almacenará el programa de control del equipo. En la figura 9.6 se muestra el diagrama a bloques de la memoria EEPROM empleada.

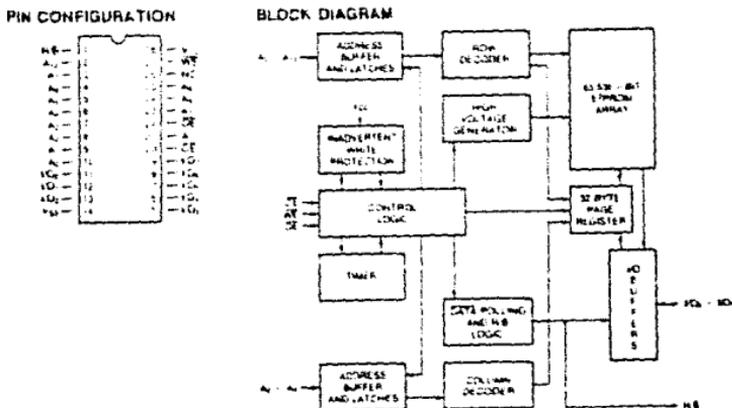


Fig 9.6 Diagrama de la EEPROM

- Memoria RAM

En este proyecto se empleará una memoria del tipo RAM con una capacidad de 2 KBytes. El circuito de memoria que se va a utilizar es el 6116, el cual tiene una capacidad de almacenamiento de 2048 palabras de 8 bits. Esta memoria es del tipo estática y esta fabricada con tecnología HCMOS. Dicha memoria cumple plenamente con las necesidades del proyecto en cuanto a almacenamiento temporal de datos. En la figura 9.7 se presenta un diagrama a bloques de la memoria así como la configuración de sus terminales.

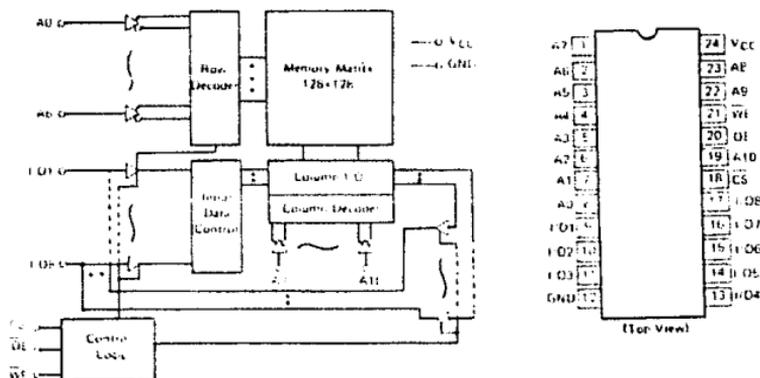


Fig 9.7 Diagrama a bloques de la memoria RAM y su configuración de terminales.

La memoria 6116 esta disponible en un encapsulado de 24 terminales estandarizadas con las memorias EPPOM y PPOM de la misma capacidad. Este circuito solo necesita para su operacion de una fuente de 5 volts, siendo completamente compatible con niveles TTL. Este tipo de memoria no necesita de reloj o de alguna otra señal de tiempo debido a que es completamente estática, además tiene un bajo consumo de energia, lo cual es característico de las memoria CMOS.

## - Convertidor analógico-digital ADC0808

El convertidor analógico digital se describe en esta sección, debido a que para fines prácticos, éste se decodifica al igual que una memoria. Como se mencionó en la tabla B.1, el sistema de control, deberá tener la capacidad de procesar señales analógicas compatibles con el circuito electrónico las cuales serán convertidas a un equivalente binario para que así el sistema digital pueda efectuar las operaciones pertinentes. Este circuito es de fabricación CMOS. El ADC0808 cuenta con un convertidor analógico-digital de ocho bits, un multiplexor de ocho canales de entrada y es compatible con microprocesador. Este circuito tiene una dependencia mínima a la temperatura y un bajo consumo de potencia. En la figura 9.8 se muestra el diagrama a bloques del convertidor analógico digital.

Block Diagram

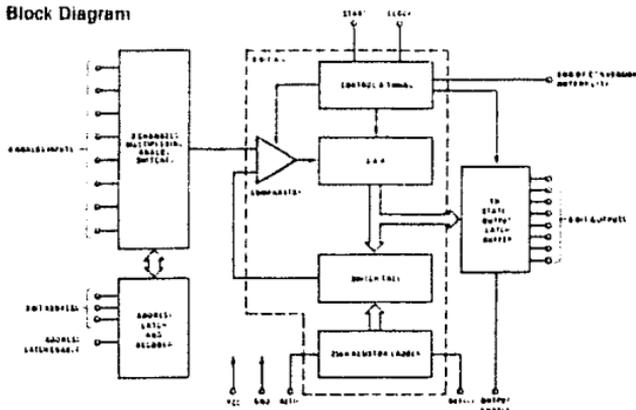


Fig 9.8 Diagrama a bloques del convertidor analógico-digital ADC0808.

A continuación se mencionan las principales características de dicho convertidor.

- Convertidor analógico digital de ocho bits de palabra con ocho canales multiplexados en la lógica de control para la selección de la entrada analógica.
- Usa el método de conversión de aproximaciones sucesivas.
- No necesita ajustes externos de escala completa y de cero.
- Permite la conexión con microprocesadores (o con salidas compatibles con TTL).
- Tiempo de conversión de 100µs a una frecuencia de 640KHz.
- Entradas analógicas entre 0 y +5V mediante una polarización de Vcc de +5volts.

- Consumo promedio de 150w.
- Salidas tres estados controladas por un latch.

En el apéndice E se muestra la configuración interna del convertidor así como sus diagramas de tiempos y otras características eléctricas.

#### 9.1.4.- Puertos.

Existen varios criterios para lo que se entiende por puertos, sin embargo, en este caso se consideran los puertos como aquellos circuitos encargados de activar alguno de los dispositivos externos capaces de realizar tareas específicas, tales como actuadores, indicadores luminosos, etc. Cabe aclarar que los puertos de un sistema se activan mediante el decodificador de puertos. Estos pueden ser de entrada o de salida. En la figura 9.9 se muestra el diagrama a bloques del módulo de puertos a utilizar en este proyecto.

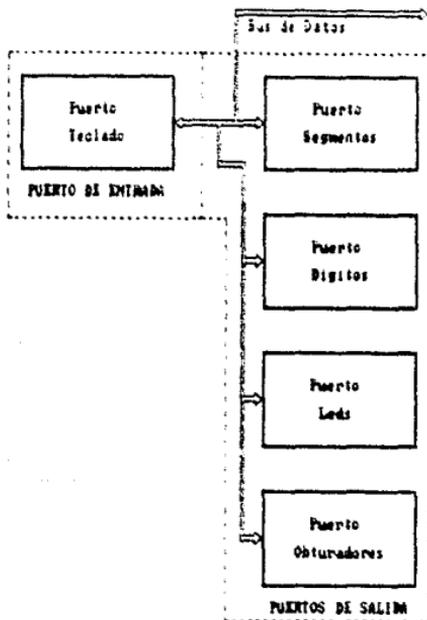


Fig. 9.9 Diagrama a bloques del módulo de puertos.

El puerto 1 llamado TEC junto con el puerto 3EB activan el teclado para el reconocimiento de alguna tecla que haya sido oprimida, los puertos 2 y 3 llamados 3EB y DIB respectivamente, activan los displays, el puerto 4 llamado LEDE activa los indicadores luminosos, por último el puerto 5 llamado OBT activa tres indicadores luminosos adicionales, la alarma audible y el modo del sistema de los computadores.

A continuación se describe cada uno de los bloques del módulo de puertos:

#### - Puerto de entrada

El módulo denominado como puerto de entrada está constituido básicamente por el puerto TEC, aunque existen señales de entrada provenientes de transductores las cuales son procesadas por el sistema digital a través del convertidor analógico-digital y del 280C10. Estas dos últimas circuitos no se consideran, para fines prácticos, dentro de este módulo. Estos serán analizados en el módulo de medios de entrada. A continuación se mencionan las características de este puerto:

1) Puerto de lectura de teclado. Por este medio se leerán los datos referentes a la selección de la tecla oprimida en el teclado. En la figura 6.10 se muestra una gráfica de la relación del teclado con el puerto. Por medio de este mismo puerto se leerán los interruptores (microswitches) del módulo de los computadores con el objeto de saber si las llaves se encuentran en la posición correcta. Por otra parte, debido a que se necesitan tres líneas de entrada para el teclado y dos para los interruptores, entonces, mediante el uso de un buffer de ocho entradas y ocho salidas, quedarán resueltos los requerimientos planteados para el puerto de entrada. Las salidas del puerto de entrada se conectarán directamente al bus de datos del sistema. El circuito que se utilizará es el 74LS244. Este circuito es del tipo de tres estados. En el apéndice G se muestra la configuración interna del mismo.

#### - Puertos de salida

Existen en el proyecto cuatro puertos de salida los cuales son:

- 1) Puerto de segmentos de los displays (SEBS).
- 2) Puerto de dígitos de los displays (DIB).
- 3) Puerto de indicadores (LEDE).
- 4) Puerto de obturadores (OBT).

Para el caso del primer puerto se empleará un circuito que consta de 6 latches (Flip-Flops), cuyas entradas se conectan

Efectivamente al bus de datos, las salidas son conectadas a unos transistores (BC108B), mismos que suministrarán la corriente necesaria para el encendido de los segmentos de los displays. En este caso los circuitos presentan la característica de ser de tres estados.

Por otra parte, en el caso del segundo puerto, se usará un circuito igual al anterior, sin embargo, en este caso, las salidas se conectarán a unos transistores (BC108B), mismos que, según sea el caso, activarán ya sea el ánodo o el cátodo de los displays. El bus de datos se conecta a la entrada de los Flip-Flops.

El relativo por el tercero de los puertos, se cuenta con un circuito del mismo tipo al de los anteriores. Las salidas se conectarán directamente a unos transistores (BC108B) para suministrar corriente a los indicadores luminosos. (Cada indicador cuenta con 6 leds).

Para el caso del último puerto de salida, se utilizará un circuito igual al de los puertos anteriores. Tres de las ocho salidas de este circuito se conectarán a unos transistores para suministrar corriente a tres indicadores luminosos, mientras que la cuarta salida activará la alarma audible y, por último, la quinta salida activará la etapa correspondiente al motor de los obturadores.

Es importante aclarar que se debe realizar la conexión del bus de datos en los cuatro circuitos anteriores. Los circuitos que se emplearon para los 4 puertos antes mencionados corresponden al circuito 74LS273, cuya configuración interna se muestra en el apéndice B.

#### 9.1.5.- Medios de entrada.

El medio de ingreso para los datos e información del operario (usuario) al sistema consiste básicamente, de un teclado (por este medio se programa a la unidad de control), aunque también hay dos señales adicionales que se conectan al sistema digital. La primera, la señal de sobretensión, se conecta al OTU, mientras que la segunda, la señal proveniente del sistema de pesaje del dializado (bascula), se conecta al convertidor analógico digital. En la figura 9.11 se muestra el diagrama a bloques del módulo de los medios de entrada.

#### - Teclado

El teclado es el medio por el cual se programa el equipo. De acuerdo a las limitantes de diseño que se mencionaron en la tabla 9.1, se usará un teclado mecánico a prueba de líquidos (semiante al teclado de memoria). Por otra parte, en base a lo tratado durante el apartado 4.7.1 de esta misma investigación, a fin de optimizar el número de líneas necesarias para la conexión de los

interruptores del teclado, se usará un arreglo del tipo matricial, dispuesto en este caso con un formato de 3 X 5. Dicho teclado contará con quince teclas, cinco de funciones y los dígitos del 0 al 9. En la figura 9.11 se muestra la conexión del teclado para el reconocimiento de la tecla oprimida.

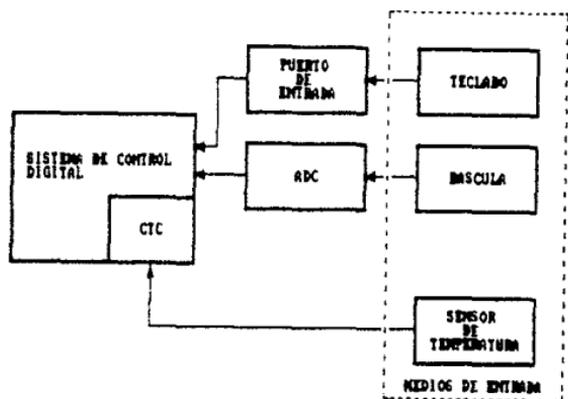


Fig 9.10 Módulo de los medios de entrada.

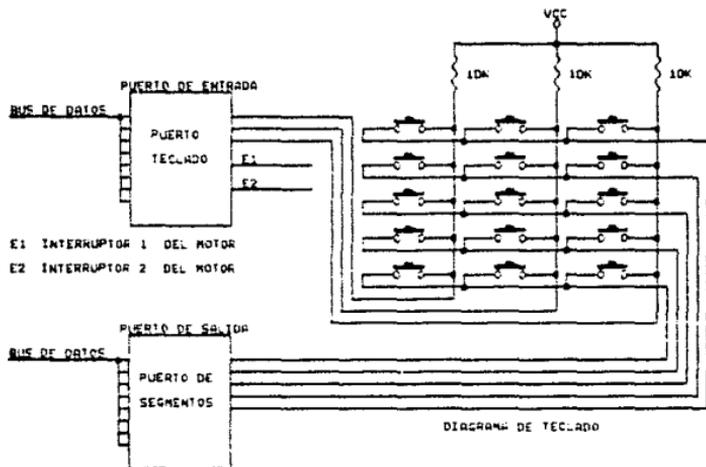


Fig 9.11 Diagrama del teclado.

Es importante aclarar que para evitar los rebotes o la detección de teclas fantasmas, una vez que el sistema detecte una tecla oprimida ejecutará un pequeño retardo y volverá a preguntar por el teclado.

#### - Sensor de temperatura

Este bloque es el encargado de enviar una señal al CTC<sup>2</sup> cuando se sobrecalienta la plancha calefactora. El transductor de temperatura que se utilizará será un diodo 1N4001 con encapsulado de cristal debido a que es un elemento que responde rápida y confiablemente a las variaciones de temperatura en el rango de operación de la plancha calefactora. El diodo se instala a un lado de la resistencia eléctrica encargada de calentar a la plancha. La señal del diodo se amplifica mediante un amplificador operacional en configuración diferencial para después ser comparada la salida a través de un comparador de voltaje. Cuando esta señal sobrepase al voltaje de referencia del comparador, se activará la señal que será enviada al CTC. Los valores de los componentes y el diagrama electrónico se muestran en el apéndice F.

#### - Báscula

Este bloque es el encargado de sensar el volumen ya sea de entrada o de salida del paciente. Para realizar esto, se cuenta con una báscula la cual tendrá acoplado un transductor potenciométrico. El transductor estará polarizado en el rango de 0 a 5V para ser compatible con el convertidor analógico digital. El potenciómetro que se empleará será del tipo deslizable (translacional). El cursor del potenciómetro se conecta directamente al canal de entrada del convertidor analógico digital debido a que esta entrada tiene una impedancia muy alta. En el apéndice F se muestra el diagrama electrónico así como el valor del potenciómetro.

### 9.1.6.- Medios de salida.

Los medios de salida son los circuitos y dispositivos capaces de mostrar o generar el resultado de algún proceso o actividad como por ejemplo, el despliegado de información a través de displays, el encendido de algún indicador luminoso, la rotación del motor para el control de las levas, etc. En los siguientes párrafos se mencionan con mayor detalle los medios de salida que se utilizan en el sistema propuesto en este estudio.

2 El canal 0 del CTC se programó como contador con una cuenta inicial de 1, así pues, cuando se activa la alarma, la cual está conectada al CLK.TRGO, el CTC decrementará la cuenta programada generando una interrupción.

## - Medios de despliegue

En lo que respecta a los medios de despliegue, están contemplados, para fines prácticos, los displays y los indicadores luminosos debido a que estos últimos se encienden de la misma manera que los displays. A continuación se analizan estos dos medios de despliegue.

1) Los displays que se utilizarán serán de siete segmentos con punto decimal. Estos estarán agrupados en tres pantallas, la primera, constituida de tres dígitos, tendrá la función de indicar las lecturas de volumen y balance (parcial o total). La segunda pantalla estará constituida por dos displays y tendrá la función de indicar el número de ciclos. La tercera pantalla formada por tres displays se empleará para indicar la lectura de tiempos. Los displays que se utilizarán para el proyecto serán del tipo ánodo común aunque pueden ser cátodo común. El diagrama a bloques del módulo de los displays se muestra a continuación.

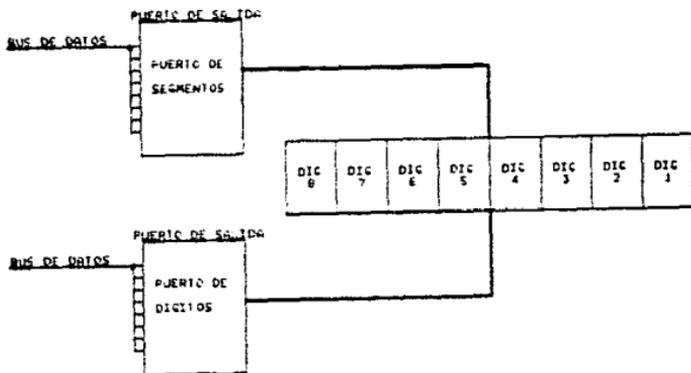


Fig 9.12 Diagrama a bloques del módulo de displays.

Como se puede observar en la figura, el despliegado de los displays utiliza el puerto de segmentos y el puerto de dígitos. Para activar los segmentos y los dígitos se utiliza una rutina de programación. El puerto de segmentos se utiliza también para el funcionamiento del teclado.

2) Indicadores luminosos. Están constituidos por un conjunto de cinco leds para cada indicador, razón por la cual se requiere de un transistor a fin de suministrar la corriente requerida por cada indicador luminoso. Los indicadores luminosos son empleados

para indicar las etapas que se están llevando a cabo durante el proceso de la diálisis en curso, dichas etapas se ejecutan mediante las funciones que se indican a continuación:

- Indicar las alarmas del sistema en caso de presentarse cierta condición anormal de operación.
- Indicar si se está realizando el ciclo manual o automático.
- Indicar lecturas de volumen, balance y número de ciclos de la diálisis.

En la figura 9.13 se ilustra un diagrama a bloques del módulo de los indicadores del sistema.



Fig 9.13 Diagrama a bloques del módulo de los indicadores.

#### - Alarma audible

La alarma audible se activará tan pronto se presente alguna condición anormal de operación como las mencionadas en el inciso 6.2. Por otro lado, la alarma se activará mediante el puerto de obturadores. En la figura 9.14 se muestra un diagrama a bloques de la alarma audible. Cabe mencionar que de acuerdo a las normas técnicas usadas en equipo de diálisis peritoneal, se utilizará una alarma audible de 80dB. Para generar la frecuencia a la cual deberá sonar la alarma, se utiliza un temporizador LM555 el cual tiene la característica de tener dos circuitos temporizadores dentro de un sólo circuito integrado. La configuración interna del circuito se muestra en el apéndice G.

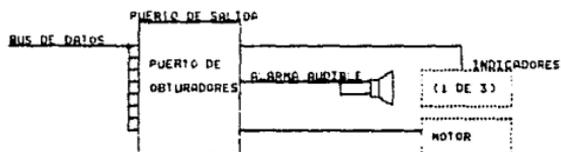


Fig 9.14 Diagrama de bloques de la alarma audible.

## - Sistema de obturación de mangueras

En otro de los puertos de salida se tiene el accionamiento del motor que controlara las levas para la obturación de las mangueras del sistema con el objeto de permitir o restringir el paso del dializato.

En este inciso se describe el diseño y funcionamiento del mecanismo de dicho sistema.

En el desarrollo de este mecanismo se tomo como referencia el sistema de obturación usado en la maquina de diálisis AMP '80, misma a la que se hace referencia en el apéndice A. Dicho sistema utiliza dos levas unidas y accionadas por una flecha de transmisión que es accionado a la vez por un motor eléctrico de bajas revoluciones por minuto. Cada vez que se requiere permitir o restringir la circulación del dializato, realiza el movimiento que se describe a continuación. El motor es accionado por una corriente eléctrica; dicho motor hace girar la flecha que, a su vez, provoca la rotación de las levas. Las levas al girar, mueven al vástago del obtusor y, dependiendo de la posición angular en que se encuentre la leva, esta se mueve hacia adelante o hacia atrás abriendo o cerrando respectivamente la circulación del fluido. Para que se realice este último movimiento, es necesario un resorte que ayude a regresar la leva puesto que no existe una conexión fija entre la leva y el vástago.

La secuencia que realizan los obtusores en un ciclo completo en proceso de la diálisis peritoneal es la siguiente:

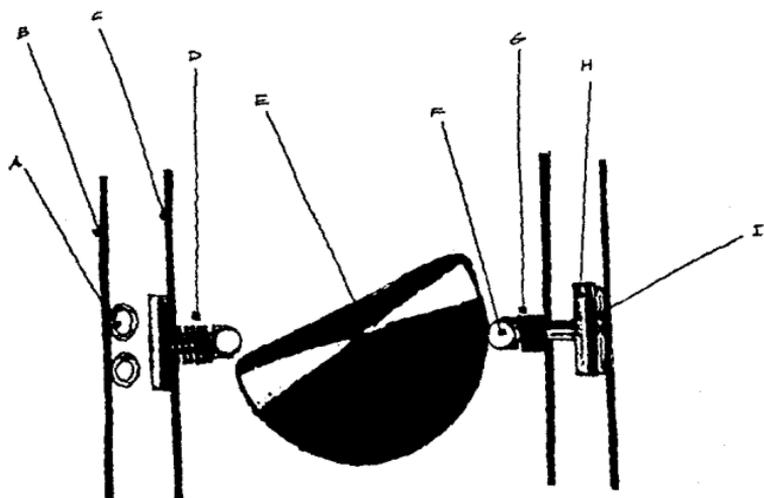
	LINEAS	
	1 2	3 4
	OCLUSOR 1	OCLUSOR 2
DRENADO	ABIERTO	CERRADO
ANTES PERMANENCIA	CERRADO	CERRADO
PERMANENCIA	CERRADO	ABIERTO
ANTES DRENADO	CERRADO	CERRADO

Como se puede apreciar, para que se realice este ciclo, debe existir un paso en el que las dos líneas estén cerradas al mismo tiempo; esto se logra con un desfase físico de las levas.

Ahora bien, el sistema de obturación, diseñado para este proyecto tiene el mismo principio de funcionamiento que el descrito anteriormente, propio de la maquina AMP '80, por apegarse a las requerimientos de diseño previamente establecidos: tamaño reducido, inercia reducida, sencillez, y lo más económico posible.

El concepto del sistema de obturación utilizado en este proyecto coincide con el de la maquina AMP '80; excepto que la leva accionadora de los vástagos es diferente. La leva aquí diseñada se muestra en la figura 3.15. Como se puede notar, la forma de la leva es de un cardiode, esto por el fin de

poder realizar los pasos de obturación de las líneas del ciclo de diálisis, condición que se mencionó anteriormente. Por otra parte, la forma de la leva descrita, brinda la ventaja de poder mantener los dos oclusores cerrados al mismo tiempo. El lapso de tiempo en que permanezcan los dos oclusores cerrados al mismo tiempo depende de que tan cerrada o abierta esté la leva y se puede calcular obteniendo el inverso del tiempo que se desea que las dos estén cerradas, lo que proporciona el total de grados del ángulo de rebaso. En adición a la leva y los vástagos, se utilizará un motor sincrónico de bajas revoluciones, el cual tendrá acoplada la flecha para el accionamiento de la leva en cuestión.



- A) Oclusor 1 (líneas 1 y 2)
- B) Pared de soporte de las mangueras
- C) Pared de apoyo del resorte
- D) Resorte libre
- E) Leva
- F) Caja balón
- G) Resorte en compresión
- H) Cilindro oclusor
- I) Oclusor 2 (líneas 3 y 4)

Fig 9.15 Diseño de leva única.

### 9.1.7.- Fuente de suministro de energía.

El diseño de una fuente de energía es otro de los puntos importantes dentro del diseño de sistemas digitales, debido a que la fuente suministrará la energía para que el circuito electrónico funcione adecuadamente. Así pues, una mala regulación de voltaje, una equivocación sobre la potencia que debe suministrar la fuente de energía, o bien, ruido eléctrico presente en la línea de C.A., provocará que el sistema digital funcione inadecuadamente o bien que no funcione. Por esta razón se debe tener la seguridad de que los parámetros de funcionamiento de la fuente se conserven dentro de un estrecho margen durante el tiempo de operación. Como base de la fuente de suministro se emplearán los circuitos integrados 7805 los cuales son reguladores de voltaje fijos. Estos circuitos presentan la ventaja de tener muy buena regulación tanto de línea como de carga, además de contar con una protección contra sobretensión. En la figura 9.16 se muestra el diagrama a bloques de la fuente de suministro.

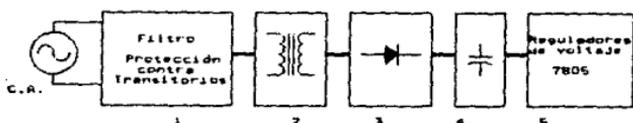


Fig 9.15 Diagrama a bloques de la fuente de suministro.

Como se puede observar en la figura anterior, la fuente está constituida por los diferentes bloques que a continuación se describen.

- 1) Transformador 127-7.5V @ 3Amp.
- 2) Filtro de línea (50Hz). Protección a picos de alto voltaje.
- 3) Rectificador de onda completa.
- 4) Etapa de filtrado.
- 5) Reguladores de voltaje fijos.

En los siguientes párrafos se analizan los diferentes bloques que constituyen a la fuente de alimentación. En el apéndice F se muestra el diagrama electrónico de la fuente de suministro.

El primer bloque está constituido por un transformador reductor o de bajada, mismo que convierte el voltaje de línea de 120 volts a un voltaje mas bajo y suministra una corriente de 3 amperes. Si se trata de circuitos digitales, este voltaje puede estar en el rango de 6.3 a 12.6 volts.

El segundo bloque está constituido por un filtro de línea y por una protección a posibles transitorios presentes en la línea. Conviene considerar que la línea comercial de 120V de C.A. puede contener transitorios, mismos que llegar a varios cientos de volts durante un periodo de tiempo muy pequeño y pueden tener frecuencias muy altas, esto es producido por rayos, tormentas eléctricas, al conmutar equipo inductivo en la línea, etc. Lo anterior proporciona razones suficientes para utilizar un filtro de línea a fin de suprimir frecuencias indeseables en la línea de 120V de C.A. y un varistor destinado a recortar los picos de voltaje.

Cabe mencionar que ya existen filtros comerciales diseñados para atenuar las armónicas presentes en el voltaje línea. Por otro lado, el varistor que se empleará será un V:50, con el fin de que cuando el voltaje de línea exceda 200 volts aproximadamente, el varistor recorta este voltaje como lo haría un diodo zener en corriente directa. En el apéndice F se muestra la configuración del filtro así como los valores de sus componentes.

Retomando el diagrama de la fuente, el siguiente bloque está formado por la etapa de rectificación, misma que convierte la corriente de alterna a directa. Como el sistema requiere de una fuente unipolar, entonces se empleará un rectificador de onda completa, constituido por dos diodos y un transformador con derivación central. Los diodos deberán soportar una corriente de 3Amp. Por otro lado, se utilizarán los pulsos de 120Hz de la señal rectificadora de C.A. para generar la señal de reloj del módulo de control de tiempos. La etapa electrónica que se empleará para esto se muestra en la siguiente figura.

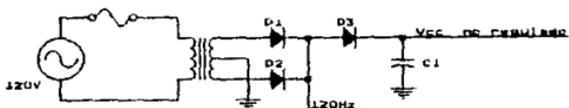


Fig 9.17 Diagrama electrónico de la etapa de rectificación y control de tiempos

Como se puede apreciar en la figura 9.17, el diodo D3 es un diodo que evita el efecto filtrante del capacitor C1 del nodo formado por los diodos D1 y D2.

Continuando con el análisis de la fuente, el siguiente bloque está formado por la etapa de filtrado, la cual genera una señal de corriente continua (C.C.). La etapa de filtrado está constituida por dos capacitores conectados en paralelo. Los valores de los capacitores se calculan en función del porcentaje de rizado que aceptan los reguladores de voltaje.

La siguiente etapa está conformada por los reguladores fijos de voltaje. El regulador de voltaje que se utilizará es el 7805 debido a que como ya se mencionó, este presenta una adecuada regulación de voltaje y de carga.

Por último, es necesario mencionar en este inciso, que el método que se emplea para la prevención de accidentes es el de conexión a tierra física el cual se explica en el apartado 3.1.3.

#### 9.1.8.- Calentamiento del dializado.

Este módulo se considera independiente del sistema de control digital, debido a que, para su operación no necesita de ninguna señal de control del sistema digital. En la figura 9.18 se muestra el diagrama a bloques de este módulo.



Fig 9.18 Diagrama a bloques del módulo de la plancha calefactora.

A continuación se explica brevemente el funcionamiento de dicha plancha calefactora.

- Regulador de temperatura. Este bloque está formado básicamente por un transformador reductor, un diodo rectificador, un arreglo RC (constante de tiempo), un divisor de voltaje y un comparador de voltaje. La señal rectificada (constante de tiempo) se conecta a una entrada del comparador mientras que un voltaje de referencia (divisor de voltaje) se conecta a la otra entrada. Así pues, dependiendo del voltaje de referencia, se obtendrá un tren de pulsos con diferentes ciclos de trabajo. Estos pulsos son utilizados para disparar un triac a través de un circuito MOC3011 (conocido comúnmente como triac driver), el cual excitará la compuerta de un triac (MAC223) para controlar la corriente que circulará a través de la resistencia eléctrica de la plancha calefactora.

- Plancha calefactora. Constituida por una resistencia eléctrica la cual se calentará cuando circule la corriente alterna

a través de ella. Así pues, la temperatura de la plancha será proporcional al tiempo que esté activado el triac.

- Sensor de temperatura. Este circuito fue explicado en el inciso 6.5.2.

## 9.2.- Programación del sistema.

El último paso en la secuencia de diseño, una vez que el prototipo físico ha sido implantado, consiste en programar el sistema y efectuar sobre este las pruebas necesarias que garanticen tanto el buen funcionamiento, como el cumplimiento adecuado de las limitantes de diseño.

El diseño del programa de control (software) es tan importante como el diseño de la parte electrónica. El hecho de que la programación se realice al final no significa que esté en un diferente nivel jerárquico, sino que por facilidad, primero se implanta la parte electrónica para después poder elaborar el programa pertinente.

El objetivo fundamental de nuestro proceso de programación consiste en desarrollar un sistema de utilización de recursos adecuado a la arquitectura interna propia del sistema de control. Se debe tomar en cuenta ciertas restricciones existentes dentro del mismo sistema tales como el mapa de memoria, el conjunto de instrucciones del microprocesador, la manera en la que inicia su operación el sistema después de un reseteo, etcétera, el modo de almacenamiento físico de programa, el modo de captura y ejecución de cada instrucción, etc.

Con el fin de facilitar el desarrollo del programa se consideran las funciones a ejecutar por este, contendrán únicamente arreglos de instrucciones presentes en el conjunto de instrucciones del microprocesador Z80.

El programa debe ejecutar las siguientes acciones: abrir o cerrar las levallas obturadoras, contabilizar la cantidad de ciclos de diálisis que ha realizado, cronometrar la duración de cada ciclo, monitorear la cantidad de diálizato introducida así como la drenada, verificación del buen funcionamiento del equipo y, en caso de alguna situación anormal, activar la alarma correspondiente.

Para realizar el programa que ejecute las acciones anteriores se utilizó la misma metodología de diseño empleada en la parte electrónica (Top Down) y empleando la programación estructurada. El propósito de usar esta técnica de desarrollo es el de tener un programa modular, comprensible, fácilmente depurable y fácilmente modificable. Por otra parte, como se menciona en la sección 8.2, las ventajas que presenta la programación estructurada es que un problema se puede dividir en subproblemas (módulos funcionales) con el fin de ir implantando, resolviendo por separado y estableciendo una jerarquía de módulos funcionales.

Después de haber desarrollado la jerarquización se llega a concebir una idea clara y objetiva del camino a seguir en el programa. Lo anterior facilita la realización de los diagramas de flujo y por ende la escritura del código de instrucciones del programa.

El algoritmo de control del sistema se genera a partir de un análisis detallado de los requerimientos del proceso de la diálisis peritoneal y de la jerarquización obtenida. Por tal motivo, a continuación se presenta un breve resumen del proceso el cual se divide, como se menciona en la sección de limitantes de diseño, en tres etapas.

- 1) Calentamiento del dializato, por medio de una plancha eléctrica, hasta una temperatura aproximada de  $39^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ .
- 2) Introducción del dializato a la cavidad peritoneal y mantenerlo un cierto tiempo de permanencia fijado en el inicio del proceso.
- 3) Drenado el dializato de la cavidad peritoneal del paciente. Para esta etapa del proceso, se fija un tiempo llamado de drenado (fijado también antes de iniciar el ciclo de diálisis), en el cual debe salir todo el dializato que se introdujo al paciente.

Las tres etapas mencionadas anteriormente comprenden a grosso modo el proceso de la diálisis peritoneal. En cada una de éstas, se deben tener consideraciones para realizar el algoritmo.

La primera etapa del proceso no estará incluida dentro del algoritmo de control del sistema por ser totalmente independiente del sistema digital.

En la segunda etapa, durante el tiempo de llenado y permanencia de la solución, se deberán de controlar los obturadores de las mangueras para permitir el paso del dializato hacia el interior del cuerpo del paciente. Una vez realizado el llenado, no existe mayor problema, ya que en este periodo se realiza el intercambio de impurezas entre la sangre y el líquido dializante.

En lo que respecta a la tercera etapa, cuando el tiempo de permanencia llegó a su fin, el líquido debe ser drenado del paciente. En este punto se tiene una variable importante a controlar: si al paciente ingresaron  $N$  mililitros de solución, entonces deben ser drenados  $N \pm 10\%$  mililitros. Si esto no sucede así, deberá activarse una alarma audible y un indicador luminoso en el tablero de control a fin de que se avise al operario que el paciente no drenó el volumen requerido por lo que se deberá extender el tiempo de drenado o seguir el proceso normal, quedando esto a criterio del operador.

Después del análisis de estas consideraciones y restricciones, se llega al desarrollo del algoritmo de control del sistema y a partir de este, al programa del sistema.

Por último, la rutina de autoprueba que realiza el equipo de diálisis peritoneal es simple. La que se prueba de la parte mecánica es que el motor funcione; esto es, que las levas realicen el recorrido completo que tienen asignado. La prueba del sistema electrónico consiste en verificar que las localidades de RAM que se usan en el proceso funcionen. Esto se realiza escribiendo un dato conocido a esa localidad y leyéndolo posteriormente para verificar que sea el mismo dato que se escribió.

En el apéndice H se muestra el diagrama de flujo del algoritmo de control del sistema de diálisis peritoneal.

A continuación se presenta una breve explicación de las principales funciones que realiza el programa.

El programa por desarrollar comienza asignando las condiciones iniciales a todas las variables que intervienen en el proceso. Estas variables están almacenadas en localidades de memoria RAM y principalmente son banderas e indicadores de estado de ciertas partes del proceso. Dado que las operaciones aritméticas que realiza el programa utilizan la memoria RAM, entonces una pequeña parte de ésta se acondiciona para servir como apuntador de dichas operaciones. Posteriormente se inicializan las localidades de memoria de los displays numéricos; esto se logra escribiendo ceros lógicos en todas estas localidades de modo que al comenzar a funcionar la máquina, los displays indiquen cero en todas las funciones que tienen asignadas. El display es mostrado dígito por dígito, manteniendo encendido éste por aproximadamente dos milisegundos.

Una vez que los ocho dígitos han sido encendidos, comienza la rutina de exploración de teclado. En esta parte del programa se puede apreciar si alguna tecla ha sido oprimida y, en caso afirmativo, se decodifica el número o el comando que represente. El programa es diseñado para reconocer diez dígitos y cinco comandos diferentes. Por otra parte, para que un valor sea reconocido como válido, es necesario oprimir la tecla de *entrada* al final de una secuencia de teclas. Una vez que todas las cantidades numéricas necesarias han sido introducidas en los registros de la máquina (tiempos de llenado, permanencia y drenado), el programa espera a que sea oprimida la tecla de inicio, la cual habilita interrupciones y el reloj interno. A partir de aquí, cada minuto se decrementará el registro de tiempo de llenado o drenado según la secuencia en que se encuentre.

El reloj interno del control de tiempos es diferente del reloj del sistema de EMBB que utiliza el CPU para operar, dicho reloj interno se genera a partir de dividir la frecuencia de la línea de C.A. Esta división se logra tomando la señal del secundario del transformador T1 y limitándola a un máximo de 5 volts por medio del diodo zener DZ1. Los pulsos generados aquí entran al canal 0 del Z80CTC, el cual está configurado como divisor entre 120 ya que la frecuencia del voltaje presente a la salida del rectificador de onda completa de la fuente tiene esta frecuencia.

La salida del canal 0 del CTC esta conectada a la entrada del canal 1, misma que se encuentra configurada también como divisor, sólo que su constante de tiempo es ahora de 60. Esto da un factor de división efectiva de 7200 (120X60), y como el canal 1 esta programado para interrumpir al CPU al final de su conteo, se obtendrán interrupciones cada minuto. Son estas interrupciones las que se encargan de manejar las rutinas de tiempos dentro del proceso de dializado. Cuando acaba el tiempo de llenado y permanencia, los registros de tiempo se vuelven a cargar con los valores del tiempo de drenado y comienza esta secuencia. Cuando termina este tiempo, se verifica el registro de ciclos. Si no es cero se decrementa y se recarga el registro de tiempos con los valores de llenado, permanente y drenado. Si es cero se hace sonar la alarma con el objetivo de avisar al operador y/o al paciente que el proceso terminó. En dado caso que se haya hecho alguna modificación a cualquiera de los registros, ésta se reflejará cuando la máquina verifica el número de ciclos.

Por otra parte, el programa verifica las alarmas de sobretemperatura, drenado del paciente y drenado del sistema ya sea por medio de interrupciones o bien por programa. La alarma de sobretemperatura es para asegurarse que el dializado no se caliente más de lo debido y sólo opera antes del proceso del tiempo de llenado. El bit 6 del puerto de teclado es empleado para este propósito y se verifica antes de permitir que el obturador de llenado abra. En caso de que el bit muestre un sobrecalentamiento de la solución, sonará la alarma audible y la falla quedará indicada en el tablero de la máquina para referencia del operador. El proceso no podrá continuar hasta que no sea sensada la temperatura adecuada.

La alarma de sobretemperatura actúa por medio de interrupción. El arreglo AND mostrado a la entrada del canal 2 del ZBOCTC, agrupa esta alarma, que en caso de activarse, enviarán un pulso al canal 2, el cual está configurado como contador con constante 1. Esto generará las acciones adecuadas para seguir por el programa. Por otra parte, las alarmas de drenado del paciente y drenado del sistema se activarán por programa (software). Si es drenado del paciente, la máquina esperará un tiempo proporcional al tiempo de drenado original para que todo el líquido salga. Si lo anterior no sucede, sonará la alarma indicando la anomalía. En lo que respecta al drenado del sistema, la alarma se activará inmediatamente cuando sea detectada esta condición. Cuando se ha terminado el proceso es necesario reprogramar la máquina para que vuelva a comenzar la operación. Lo anterior tiene la finalidad de evitar que se pueda comenzar un nuevo proceso con las bolsas de dializado vacías o evitar un inicio de operaciones accidental.

### 9.3.- Implantación del prototipo.

Con el propósito de implantar físicamente el prototipo diseñado, se seleccionan tablillas para soldar bases de circuitos integrados desde a la facilidad que estas presentan, al momento de la elaboración de un circuito. En este caso, la conexión entre

las terminales de las bases (circuitos integrados) se realiza mediante el soldado de puentes empleando un cable especial de calibre 26 (aproximadamente) conocido comunmente como wire wrap.

La decisión de optar por esta solución de alambrado, se debe a que, mediante esta técnica, existe muy poca posibilidad de cortos circuitos y falsos contactos. Otra ventaja que presenta esta técnica de implantación, se encuentra en el caso de hacer una modificación o corrección al circuito ya que únicamente habrá que desoldar o bien soldar aislando una cierta etapa. Una desventaja que presenta esta técnica de implantación es el tiempo de alambrado ya que el proceso de alambrado es más lento que realizarlo en protoboards. Estas tablas son de fácil adquisición, además son ideales para realizar este tipo de prototipos.

De acuerdo con el diseño especificado en el inciso anterior, se requieren los siguientes circuitos, a fin de lograr la implantación física de la arquitectura diseñada.

Concepto	Componente	Cantidad
Microprocesador	Z80CPU	1
Cronómetro/Contador	Z80CTC	1
Memoria EEPROM	2865	1
Memoria SRAM	6116	1
Convertidor A/D	ADC0808	1
Decodificadores (memoria y puertos)	74LS138	2
OR's (compuertas para decodif. de puertos)	74LS32	2
NOR (compuerta decodificador ADC)	74LS02	1
Latch's (puertos de salida)	74LS273	4
Buffer's (puerto de entrada)	74LS244	1
Timer (frecuencia de de la alarma)	LM555	1
Inversores (circuit to de reloj)	74LS04	1
Contador (divisor de frecuencia para reloj ADC0808)	74LS193	1
AND (compuerta expan ción de memoria)	74LS08	1
Circuito de reset (compuerta NAND)	4011	1

Amplificador Op. Señal del diodo	LM324	1
Comparadores de voltaje	LM311	2
Optoacoplador (triac driver)	MOC3011	2
Triac (regulador de temperatura y control del motor).	MAC223	2

Todos los circuitos propuestos en el diseño del prototipo pueden ser adquiridos en el mercado nacional, aunque elaborados por diferentes fabricantes. En el apéndice F se muestra la lista de todos los componentes (pasivos y activos).

El diseño general del prototipo, está basado en el concepto de modularidad. En el apéndice I se muestra mediante la distribución de los diferentes módulos en que se agrupan los componentes empleados.

Para implantar el sistema, la estrategia a seguir consiste en soldar las bases de todos los circuitos integrados según la distribución propuesta en el apéndice I. Inicialmente se recomienda alambrear el circuito de reloj y reset, posteriormente se establecen los buses de datos y direcciones de los circuitos CPU, EEPROM, RAM, así como el decodificador de memorias. Una vez instalado lo anterior, se recomienda alambrear los elementos de los puertos de entrada y salida para finalizar alambriendo los módulos que contienen tanto al CTC como al ADC.

A fin de simplificar la implantación del prototipo, conviene marcar con un número a cada dispositivo con el objetivo de poder identificarlo fácil y rápidamente en el diagrama electrónico del sistema.

Los decodificadores que se utilizan corresponden como ya se mencionó, al circuito 74LS136, mismo que consta de tres entradas y ocho salidas. En esta clase de decodificadores, sus salidas son activas bajas; y como las señales de habilitación para puertos y memorias deben ser también activas bajas entonces se decide utilizar los circuitos 74LS32 mismo que contienen cuatro compuertas OR de dos entradas cada una de ellas como soporte a los decodificadores, para así poder habilitar a los puertos y memorias.

Durante la implantación del prototipo, se establece un código de colores en cuanto al alambreado; así pues, el color rojo denota +Vcc; el color azul representa la referencia (tierra); el amarillo indica el bus de datos y el blanco corresponde al bus de direcciones y lógica de decodificación.

En lo que respecta a la parte del regulador de temperatura, esta se alanza en una pequeña tableta independiente a la tarjilla del control digital, debido a que por motivos de modularidad se prefirió que el sistema de la plancha calefactora y sensor de temperatura se encontraran fuera del control digital para realizar pruebas independientes. Por otro lado, en esta misma tableta se alanza la parte correspondiente a la fuente de suministro debido a que como se necesita la señal de la corriente alterna para generar el tren de pulsos en el módulo del regulador de temperatura.

Paralelamente a la implantación electrónica, se realizó la implantación mecánica (sistema de obturación y basculas). Una vez que se diseñó la leva para obturar las mangueras, se mandó fabricar a los talleres del Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica (CDMITO) de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, el resto de la parte mecánica correspondiente a este sistema.

## Bibliografie

- V. E. Fletcher  
An Engineering Approach to Digital Design  
Ed. Prentice Hall
- Joseph J. Carr  
Z80 Users Manual  
Ed. Reston Publishing Company Inc
- Barry B. Brey  
The Z80 Microprocessor: Hardware, Software, Programming  
and Interfacing  
Ed. Prentice Hall.
- Manuales: Z80CPU y Z80CTC de Zilog
- The Linear Data Book for Design Engineers  
Texas Instruments 1984
- CMOS Data Book  
National Semiconductor 1984
- Exel memory Databook
- Hitachi memory Databook
- Linear Databook  
National Semiconductor 1982
- The Linear Control Data Book  
Texas Instruments 1987
- Applications Memory Handbook  
Intel Corporation 1987
- Optoelectronics Device Data  
Motorola Inc 1983
- S. J. Canall  
Designing Microprocessor-based Designing Circuitry  
Ed. Prentice Hall
- John B. Peatman  
Microcomputer-based Design  
Ed. McGraw Hill

# CAPITULO 10

## PRUEBAS DE CAMPO

Inicialmente será explicado el conjunto de pruebas que se realizaron en la parte electrónica (hardware) a fin de garantizar el correcto funcionamiento del sistema; posteriormente serán tratadas las pruebas que se realizaron al programa (software), para así, finalizar con la descripción de las pruebas que se realizaron a los diferentes módulos funcionales que constituyen la máquina de diálisis peritoneal.

### 10.1.- Parte electrónica.

Para la verificación del correcto funcionamiento de la parte electrónica, se realizaron programas de pruebas para cada uno de los diferentes módulos funcionales los cuales se mencionan en la siguiente tabla.

Tabla 10.1

- 1) Verificación de la polarización del circuito electrónico.
- 2) Verificación del circuito de reloj y reset.
- 3) Verificación del funcionamiento del decodificador de memorias y presencia de las señales de IORC, MREQ, READ y WRITE.
- 4) Verificación del funcionamiento del decodificador de puertos de entrada/salida.
- 5) Verificación del encendido de los indicadores luminosos y de los segmentos de los displays.
- 6) Verificación de la operación del teclado y de la alarma audible.
- 7) Verificación de operación del convertidor analógico digital.
- 8) Verificación de operación del EBOIC.
- 9) Verificación del sistema de obturación.
- 10) Verificación del regulador de temperatura, plancha calefactora y sensor de temperatura.

Conviene mencionar que estas pruebas fueron diseñadas considerando un patrón secuencial de fenómenos a observar, razón por la cual se explicará brevemente cada una de ellas.

La primer prueba consiste en verificar que todas las bases de los circuitos integrados estén polarizadas adecuadamente; es decir, que entre tierra y +Vcc se tenga una diferencia de potencial de +5 volts de C.D.. Para lograr esto, la fuente de suministro debe de funcionar correctamente.

La segunda prueba consiste en la verificación de la frecuencia del circuito de reloj y reset. Para esto, es necesario auxiliarse de un osciloscopio, a fin de poder observar la frecuencia del oscilador, considerando que esta debe ser de 2MHz. En lo que respecta al circuito de reset, se debe observar que al presionar el botón de reestablecimiento, la salida del circuito empleado debe conmutar a un nivel "0" lógico.

La siguiente prueba consiste en verificar la activación del decodificador de memorias, así como la presencia de las señales de IORQ, MREQ READ y WRITE (generadas en el microprocesador). Con el fin de realizar esta prueba, se elabora un programa de prueba para activar el decodificador de memorias mediante la señal de MREQ; por otro lado, para generar las tres señales restantes, se deben ejecutar las instrucciones de entrada/salida (IN y OUT), ya que, mediante la correcta combinación de estas y el decodificador de puertos, se podrán activar los puertos de entrada-salida.

La cuarta prueba consiste en verificar la activación y el funcionamiento del decodificador de puertos y de la lógica de soporte de los puertos de entrada-salida. Mediante un programa de prueba, se activan los puertos, mismos que comprenden al puerto de dígitos, segmentos, leds, obturadores, teclado y al CTC.

Una vez direccionados los puertos de salida, la siguiente prueba consiste en activar tanto a los indicadores luminosos como a los segmentos de los displays. Para realizar esto, se elabora un programa de prueba diferente a los anteriores, que esté destinado a solo direccionar estos tres puertos de salida (segmentos, dígitos y leds).

La sexta prueba consiste en verificar el funcionamiento del teclado, así como de la alarma audible. Para verificar esto, se requiere de un programa el cual este orientado a activar la alarma audible cuando sea oprimida cualquier tecla, además de prender los indicadores luminosos.

La séptima prueba consiste en verificar el funcionamiento del convertidor analógico-digital. Para realizar esta prueba se direcciona el decodificador de memoria y la compuerta 74LS02; mediante las combinaciones de las señales de READ, WRITE y la señal del decodificador de memoria correspondiente al convertidor se accesa a dicho circuito. Así pues, para verificar esto, se conecta un potenciómetro al canal "0" del convertidor y, al variar dicho potenciómetro, aparecerá en los dos primeros displays el número hexadecimal correspondiente a la lectura del convertidor.

La octava prueba consiste en activar el DS0CTC. Para la verificación de este circuito, se direcciona el decodificador de puertos (la señal correspondiente al CTC) y junto con las señales de READ y la de IORQ, se accesa a dicho circuito. Para verificar

esto, se programa al canal "0" del CTC como contador con una cuenta inicial de "1". Así pues, al ser decrementada la cuenta, se genera una interrupción desplegando en los displays un número "0".

La novena prueba consiste en verificar el funcionamiento del sistema de obturación. Esta prueba consiste en que mediante un programa, se genere una señal de salida de uno de los latches del puerto de obturadores (OBT) el cual excita la compuerta de un TRIAC que cierra el circuito del motor de las levas. Mediante programas con diferentes tiempos de duración en la salida del puerto de obturadores, se puede calibrar la velocidad de giro del motor hasta encontrar la velocidad óptima.

La décima prueba consiste en verificar el correcto funcionamiento del regulador de temperatura, la plancha calefactora y el sensor de temperatura. Para la realización de esta actividad, primeramente se conecta el transformador reductor a la línea de C.A. Mediante la ayuda de un osciloscopio se rastrea la señal que entra al comparador de voltaje junto con el divisor de voltaje (voltaje de referencia). Así pues, a la salida del comparador se obtiene un tren de pulsos el cual cambia su ciclo de trabajo al variar el potenciómetro del voltaje de referencia. Como se mencionó en el inciso 9.3, este tren de pulsos se conecta al MOC3011 a fin de poder activar la plancha calefactora mediante el interruptor de estado sólido (TRIAC). Una vez insertados todos estos componentes, se conecta un foco de 60 watts para simular la resistencia eléctrica de la plancha calefactora. Como se puede observar, al variar el potenciómetro del voltaje de referencia varía la intensidad del foco. Por último, al sobrepasar la temperatura a la cual está calibrado el regulador de temperatura, se activa la señal que se conecta al Z80CTC.

## 10.2.- Programa.

En lo que respecta a las pruebas del programa (software), es conveniente mencionar que antes de grabar las memorias con los programas de prueba de los diferentes módulos funcionales, éstos se simulan a través de una computadora (PC) mediante el paquete llamado Simulador Z80 el cual consta de dos programas (Z80ASM y el SIMZ80). El procedimiento para la elaboración y prueba de cualquier programa es el siguiente:

- a) Elaborar el diagrama de flujo del módulo correspondiente según la técnica mencionada en el apartado 6.2.
- b) Editar el programa en lenguaje ensamblador (elaborar el listado de instrucciones) mediante algún editor de texto (ej. el editor de texto del paquete Turbo Pascal). El nombre del programa ensamblador debe contener la extensión .ASM.

- c) Ensamblar el programa del módulo de prueba mediante el programa ZBOASM. Este programa genera dos archivos, el primero de ellos con la extensión .LST, es el archivo en el cual aparecen los errores de sintaxis del archivo .ASM, así como la dirección y código de operación del programa; el segundo archivo generado, con la extensión .HEX, es el archivo mediante el cual se simula el módulo de prueba a través del programa SIM80C.
- d) Una vez que el programa funciona correctamente, el siguiente paso es grabar la memoria<sup>1</sup>. Para lograr esto, primero se debe generar un archivo con la extensión .OBJ (objeto), a partir del archivo .HEX debido a que el microprocesador opera con el código máquina. Para generar este archivo, se debe de ejecutar el programa llamado HEXOBJ el cual convierte de código HEX a código máquina (archivo .OBJ). El programa HEXOBJ se encuentra en el paquete del grabador de memorias. Así pues, sólo resta grabar la memoria y probarla.

Debido al resultado de realizar las pruebas en la parte electrónica, se tienen que hacer diferentes programas de prueba; sin embargo, se alcanza el momento en el que sólo resta elaborar los programas específicos para cada módulo operativo del programa. Es necesario aclarar que en los programas que a continuación se describen están contemplados algunos de los programas que se realizaron en la parte electrónica. Al igual que en las pruebas de la parte electrónica, se elaborará una tabla con las pruebas de verificación correspondientes, misma que se muestra a continuación.

Tabla 10.2

- 1) Verificación del despliegue de números decimales en los puertos.
- 2) Verificación del funcionamiento del teclado.
- 3) Despliegado del valor del convertidor analógico-digital.
- 4) Verificación del funcionamiento del ZBOCTC.
- 5) Verificación del funcionamiento interactivo de todos los módulos funcionales relacionados.

<sup>1</sup> Para grabar las memorias se utiliza el grabador de memorias Modular Circuit Technology EPROM Programmer.

La primera prueba que se realiza en cuanto al programa, es elaborar una tabla en ROM con los códigos hexadecimales para poder desplegar los números del cero al nueve. El programa consiste en hacer un recorrido por todos los displays de los números, esto es, primero aparece el número cero en todos los displays, después de un segundo aproximadamente, cambia al número uno, y así sucesivamente hasta el número nueve, repitiéndose el proceso indefinidamente. Estos programas son simulados en la computadora antes de ser grabados.

La segunda prueba consiste en elaborar un programa que active al teclado. Como se mencionó en la tabla 8.1, el teclado consta de teclas numéricas y teclas que realizan funciones específicas. Así pues, la prueba consiste en que al oprimir cualquier tecla numérica, aparezcan en todos los displays el número de la tecla correspondiente, y en caso de oprimir una tecla de función debe aparecer alguna de las letras de la A a la E según la tecla oprimida. Al oprimir cualquier tecla, suena la alarma audible además de prender alguno de los indicadores luminosos. En la figura 10.1 se muestra la disposición de las teclas.

1	2	3
4	5	6
7	8	9
A	B	B
C	D	E

Fig. 10.1 Disposición del teclado.

La tercer prueba consiste en desplegar el número decimal de la lectura del voltaje analógico de entrada el cual es capturado por el convertidor analógico-digital. Puesto que la resolución del convertidor es de 6 bits, se pueden desplegar los números comprendidos entre el 0 y el 255. Para simular esto, se conecta el cursor de un potenciómetro a la entrada del canal cero del convertidor con el propósito de variar el voltaje de entrada.

La cuarta prueba consiste en verificar el correcto funcionamiento del DS02TC. Esta prueba se realiza al igual que en la parte electrónica.

Una vez que han funcionado los módulos anteriores, se procede a elaborar un programa de prueba para el sistema de control relacionado los diferentes módulos funcionales. Este programa consiste en inicializar (asignar valores iniciales) varios parámetros propios al proceso de diálisis. De esta manera, se comprueba que la memoria EPAM almacenará los datos que son suministrados por el teclado. Además, se verifica que los displays desplieguen todas las localidades de memoria que contengan la información referente a los diversos tiempos y volúmenes utilizados en el proceso. Una última ventaja que ofrece esta prueba es verificar que las interfaces del sistema respondan a los comandos internos del controlador, siendo éstas el accionador del motor para los obturadores de mangueras, la alarma audible y el indicador luminoso de tecla oprimida.

Una vez que las pruebas anteriores funcionan correctamente, se ensambla el sistema con todos sus módulos funcionales y se elabora el programa definitivo del sistema control, el cual se genera a partir del diagrama de flujo que se muestra en el apéndice H.

Por último, una vez que el prototipo ha funcionado correctamente se deben realizar las pruebas correspondientes al apartado 3.2.5.

# CAPITULO 11

## CONCLUSIONES

El desarrollo del presente trabajo fue una experiencia que podemos considerar típica de un ingeniero de diseño en electrónica. Se nos presentaron obstáculos, algunos sencillos y otros complejos, a los que encontramos las mejores soluciones posibles basados en un criterio funcionalidad-eficiencia-costo apogándonos a los objetivos fijados al inicio del proyecto. Además de ser una experiencia altamente formativa desde el punto de vista académico, lo fue también desde el punto de vista personal ya que, al ser un trabajo interdisciplinario tuvimos la necesidad de obtener información, entre otros, hablando con gente ajena a nuestro medio, en este caso médicos, diseñadores industriales y metalúrgicos. Este es un punto que de hoy en adelante tendremos que tomar más en cuenta ya que nuestro desarrollo profesional dependerá en buena medida de nuestra interrelación con personas en diversas especialidades.

Aprendimos lo que es un trabajo en equipo, ya que al ser un proyecto de tres personas nos obligamos a compartirlo con las mismas responsabilidades por igual, por lo que podemos decir que comenzamos de una manera formal a hacer ingeniería.

Por otro lado, todos nosotros conocemos las carencias del país en el sector tecnológico. Estamos capacitados no sólo para convertirnos en operadores de máquinas importadas, si no para desarrollarla en México, generando nuestra propia tecnología apoyados por la ya existente, por lo que es posible ser autosuficientes en ciertos renglones de los que hoy dependemos del extranjero.

La realización de esta tesis nos lleva a la mejor solución del problema presentado, dando la satisfacción de tener una máquina con tecnología nacional del cien por ciento y por lo tanto de mayor alcance social.

El realizar un proyecto comercial real en equipo presenta la gran ventaja de proporcionar experiencia muy similar en solución de problemas reales del campo profesional.

Un trabajo de tesis implica una gran inversión de tiempo, recursos económicos y compromiso, por lo que estamos obligados a sacar de ella un beneficio social y que no sea sólo un trabajo teórico el cual sea almacenado en una biblioteca, debiendo considerar la proyección futura del equipo desarrollado, por lo que se debe tomar en cuenta su depuración ya que al ser su uso enfocado a las instituciones médicas del estado se debe actualizar conforme las normas internacionales lo dicten. Este hecho nos obliga como diseñadores, a dejar un margen en el diseño para la actualización tanto en componentes como en funciones.

Debemos estar conscientes de la responsabilidad social que hemos adquirido por nuestro paso a través de la universidad, por lo que debemos hacer nuestro mejor esfuerzo para retribuir al país los conocimientos adquiridos en forma gratuita y recuperar el prestigio de antaño de nuestra universidad.

**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**

**Ciudad Universitaria  
Marzo de 1990**

Moisés E. Rueda Gutiérrez.

Francisco J. Padilla Aranalde.

Tomás Medina Flores.

## APENDICES

- APENDICE A - SOLUCIONES COMERCIALES
- APENDICE B - RESPALDO DE ENERGIA
- APENDICE C - MICROPROCESADOR 8086CPU
- APENDICE D - CRONOMETRO CONTADOR 8080CTC
- APENDICE E - CONVERTIDOR ANALOGICO DIGITAL ADC0808
- APENDICE F - DIAGRAMAS ELECTRONICOS DE LOS DIFERENTES MODULOS DEL SISTEMA DE DIALISIS PERITONEAL
- APENDICE G - CONFIGURACION DE TERMINALES DE DIVERSOS CIRCUITOS INTEGRADOS
- APENDICE H - DIAGRAMA DE FLUJO DEL ALGORITMO DE CONTROL PROGRAMA
- APENDICE I - DISTRIBUCION DE COMPONENTES

## APENDICE A

### SOLUCIONES COMERCIALES

MÁQUINA MARCAS	SISTEMA DE CALENTAMIENTO	FUERZA MOVIL Control del flujo del fluido
TRAVENOL  CICLADOR PAC-K	Sistema de cebado o semi-automático (gravidad). Sistema de drenaje por bomba. Tpo. de llenado 0-30 min. Tpo. de permanencia 0-9 hrs. y 50 minutos. Número de ciclos 1-99.	Flujo de entrada y salida del paciente por gravedad. Búsqueda para la solución de salida. Completamente automático. Realiza DPI y DPCC (1). Control por microprocesador.
AMERICAN MCGAW  VCI CICLADOR INCRUSTAR	Volumen de llenado 1 a 3 kg. Tpo. de permanencia 0-10 hrs. Tpo. drenaje 0-99 min. Gabinete de calentamiento localizado en el interior de la consola. La bolsa de calentamiento se llena durante el tiempo de permanencia y drenaje. El mínimo tpo de drenaje es suficiente para calentar la solución.	Flujo de entrada y salida del paciente por gravedad. Control por microprocesador. Maneja volúmenes tanto por vía pediátrica como adulta. Funciona para tratamiento a gado. Realiza los DP y DPI (2).
ABBOT  CICLADOR IMPERSOL 1000	La consola de calentamiento controla y regula la temperatura de la solución dializante.	Batería de respaldo para cuando se va el suministro de energía. Flujo de entrada y salida del paciente por gravedad. Control por microprocesador. Búsqueda de pesaje para drenado.

1. - DPI: Diálisis peritoneal intermitente.
- DPCC: Diálisis peritoneal cíclica continua.
2. - DP: Diálisis peritoneal.

MAQUINA  
(MARCA)

SISTEMA DE  
CALENTAMIENTO

FUERZA MOVIL  
Control del flujo  
del fluido

---

AMP  
CICLADOR  
AMPBQ/2 DE  
LINEA

Gabinete de calentamiento  
con graduación de temper-  
atura de entrada.

Flujo de entrada y salida  
del paciente por gravedad  
Báscula pesaje para drenaj-  
do.

---

OMERO

Gabinete de calentamiento

Consta de dos bombas:  
1 de llenado.  
1 de drenaje.  
Consta de dos básculas:  
1 para la entrada de la eg-  
lución.  
1 para la salida.  
Difícil de operación.

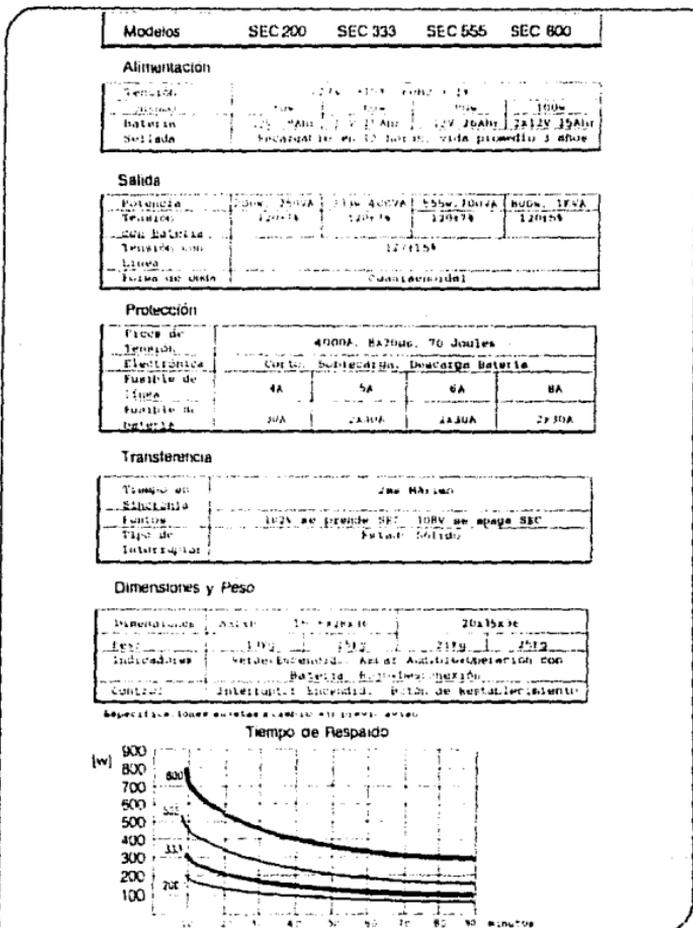
---

MAQUINA (MARCA)	ESTRUCTURA Y CARACTERISTICAS	CONTROL DEL VOLUMEN (Recipientes)
TRAVENOL  CICLADOR PAC-X	Capacidad para pacientes crónicos y agudos. Alarmas terminales que indican las condiciones de temperatura de la solución por medio de tres termistores. Alarmas para drenado controlan el balance de ultrafiltración y el de drenado. Pesada	Juego de conectores en X. Volúmenes de 100-3000 ml. Para uso casero y en hospitales.
AMERICAN MCOAV  VCI CICLADOR INCRUSTAR	Mensajes visuales y audibles para sobrecalentamiento. Ojo electrónico conectado a una alarma que identifica la claridad de la solución. Sistema de protección automática de sobrellenado. Transportable y ligera.	Bloque de obturación de tubo (1 y 2) para control del flujo. Bolsa de drenaje de latex. Volúmenes de 100 a 3000 ml. Para uso casero y en hospitales.
ABBOT  CICLADOR IMPERSOL 1000	Alarmas audibles y visuales. Lectura de ultrafiltración y valores de líquido. Para pacientes crónicos y agudos. Desarmable.	Conector tipo F. El sistema permite escoger la posición del drenaje. Los contenedores de solución funcionan como bolsas de pesaje y calentamiento. Para uso casero y en hospitales.
AMP  CICLADOR AMP 80/2 DE LINEA	Alarmas audibles y visuales de sobrecalentamiento. Drenaje del paciente y sistema de drenaje. Desarmable y desplazable.	Volúmenes 250-2000 ml. Ocluser de tubos numerados (1,2,3,4). Material de dializato es contenedor de PVC. Para uso casero, en hospitales.
CAMERO	Sistema de alarmas audibles y visuales. Desplazable. No transportable. Se interrumpe cuando se va el suministro de energía.	Desechables elaborados en PVC. Para uso en hospitales.

## APENDICE B

### RESPALDO DE ENERGIA

#### Sistema de Energia Continua



## RESPALDO DE ENERGIA

### Sistema de Energía Continua Regulada

<b>Modelos</b>	SECR 200	SECR 333	SECR 555	SECR 800	SECR 1300
----------------	----------	----------	----------	----------	-----------

#### Alimentación

Tensión	140V, 220V, 230V, 100Hz ± 1%	90 a 144 V CA	
Consumo	100W	80W	100W, 120W, 150W
Batería	12V 9.5Ah	14V 15Ah	12V 25Ah, 2x12V 15Ah, 2x12V 25Ah
Sellado	No segregable en 12 horas, vida promedio 3 años		

#### Salida

Potencia	200W, 250VA	333W, 400VA	555W, 700VA	800W, 10VA	1,3Kw, 1,6KVA
Tensión	120V±5%	120V±5%	120V±5%	120V±5%	120V±5%
Cap. Cálculo					
Tensión con Línea	120V±5%				
Forma de Ondas	Cuasi-senoidal				

#### Protección

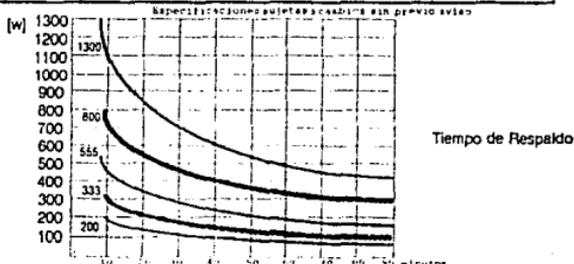
Picos de Tensión	4000A, 8x20us, 70Joules				
Eléctrica	Corto, Sobretensión, Descarga Bateria, Sobretensión				
Fusible de línea	4A	4A	4A	8A	12A
Fusible de batería	30A	2x30A	2x30A	2x30A	2x30A
Corrección de tensión	2ms				

#### Transferencia

Tiempo	2ms Máximo				
Puntos	Simultáneo con la línea				
Tipo de interruptor	102V en modo SECR, 108V en modo SECR Estado Sólido				

#### Dimensiones y Peso

Dimensiones	AtLxH cm	15,5x24x34	20x35x36	+15x28x20
Peso	14kg	16kg	27kg	31kg
Indicadores	Verde Encendido, Azul Audible operación con Bateria, Verde desconexión, Nivel de Tensión de Entada (5)			
Control	Interruptor Frontal, Botón de Reestablecimiento			



## APENDICE C

### MICROPROCESADOR Z80CPU

El propósito del siguiente apéndice es el mostrar las principales características del microprocesador Z80 así como sus diagramas de tiempos y características eléctricas.

#### Organización Interna

La arquitectura interna del microprocesador Z80 se muestra a continuación.

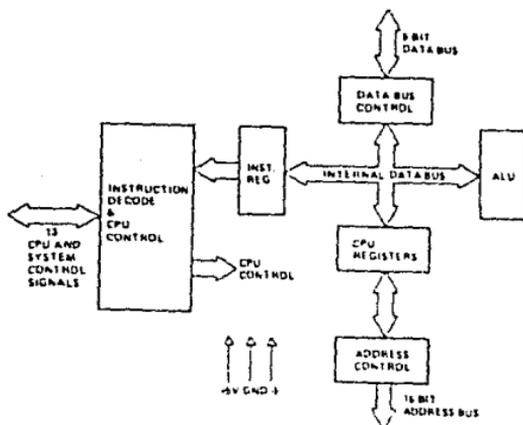


Fig C.1 Arquitectura del microprocesador Z80CPU.

Como se puede observar, el rectángulo marcado representa la unidad de control que sincroniza el funcionamiento de todo el sistema.

El ALU es la parte que realiza las operaciones aritméticas y lógicas. Para su funcionamiento cuenta con un registro especial localizado en una de sus entradas llamado acumulador, el cual puede ser utilizado para entrada o salida de datos.

A la izquierda del ALU se encuentran las banderas o registro de banderas. Este registro también denominado F, está formado por 8 bits. El contenido del registro de banderas puede ser leído mediante instrucciones especiales o por bus el interno de datos.

En la ejecución de la mayoría de las instrucciones del procesador, se modifica una o varias de las banderas que se muestran a continuación.

	Bit	Designación	Significado
LSB	0	C	Bandera de acarreo
	1	N	Bandera de resta
	2	P/V	Bandera de paridad y de overflow
	3	X	Sin uso
	4	h	Bandera de medio acarreo en BCD
	5	x	Sin uso
MSB	6	Z	Bandera de cero
	7	S	Bandera de signo

### Los registros

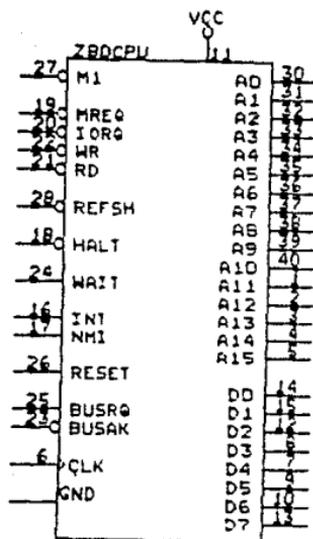
Conceptualmente se puede distinguir dos tipos de registros, los de propósito general y los de direcciones. Los registros de propósito general son usados normalmente para almacenar datos de 8 bits. En el microprocesador Z80 existe la facilidad de poder manejar dos registros a la vez en cualquier momento (registros pares), con lo cual se pueden almacenar datos o direcciones de 16 bits.

A continuación, se mencionan cada uno de los registros de direcciones del Z80CPU.

- Registros indexados IX e IY.
- Apuntador del stack SP.
- Contador del programa PC.
- Refresco de memoria R.
- Vector de interrupción I.

### Descripción de terminales del Z80CPU

Un Z80CPU está construido en un encapsulado DIP de 40 terminales. En la figura C.2 se muestra la disposición de sus terminales. La disposición y descripción del funcionamiento de cada una de ellas se mencionan a continuación.



lectura o escritura a memoria. La importancia de esta señal es la de controlar el mapa de memoria.

**IORQ** Solicitud de salida/entrada. Señal de salida unidireccional de tres estados verificada baja. Esta señal indica que la dirección de entrada-salida presente en los 8 bits menos significativos del bus de direcciones es válida para realizar una operación de lectura o escritura del puerto de E/S. Una señal de IORQ también es generada simultáneamente con una señal de MI cuando una interrupción es reconocida para indicar que el vector de respuesta puede ser colocado en el bus de datos.

**RD** Señal de lectura. Señal de salida de tres estados verificada baja. La señal de RD indica que el CPU está listo para leer la información contenida en el bus de datos con el objetivo de introducirla en uno de los registros internos. El dispositivo de E/S o memoria direccionada debe utilizar esta señal para introducir datos al bus de datos del CPU.

**WE** Señal de escritura. Señal de salida tres estados verificada baja. Esta señal indica que el bus de datos contiene datos válidos para ser almacenados en alguna localidad de memoria o en un dispositivo de entrada/salida.

**RFSH** Refresco de memoria. Señal de salida tres estados verificada baja. Esta línea solo opera con memorias dinámicas.

**HALT** Señal de paro. Señal de salida verificada baja. Es la señal de reconocimiento que genera el CPU después de que ha sido realizada la instrucción de halt. En este estado, el microprocesador espera una interrupción que provenga externamente para poder seguir ejecutando instrucciones. Mientras el microprocesador se encuentra en el estado de halt, realiza NOP's (no operation) para mantener el refresco de memoria continuamente.

**WAIT** Señal de espera. Señal de entrada verificada baja. Esta señal cuando está activa indica que la memoria direccionada o el dispositivo de entrada/salida no está listo para la transferencia de datos. Esta señal permite que memorias o dispositivos de entrada/salida de cualquier velocidad se puedan sincronizar con el CPU.

**INT** Solicitud de interrupción mascarable. Señal de entrada unidireccional verificada baja. Cuando una señal de interrupción está presente en la línea de interrupciones y además el flip-flop habilitador interno está activo, el Z80 aceptará una interrupción (la señal de BUSREQ no debe estar activada), generando una señal de reconocimiento, señal IOPQ. Una solicitud de interrupción de este nivel es reconocida al final de la instrucción que se realiza en turno.

**NMI** Interrupción no mascarable. Señal de entrada activada con un flanco de bajada. Una interrupción no mascarable tiene mayor prioridad que la mascarable INT y siempre es aceptada al final de la instrucción en turno independiente del flip-flop habilitador interno. Una señal NMI fuerza automáticamente al CPU a ir a la localidad 0006H. El PC es automáticamente guardado en el stack de tal forma que el usuario pueda regresar al programa que

fué interrumpido.

**RESET** Señal de reestablecimiento. Señal de entrada verificada baja. Un reset fuerza al PC a tomar la dirección 0000H e inicializa al CPU. La inicialización incluye:

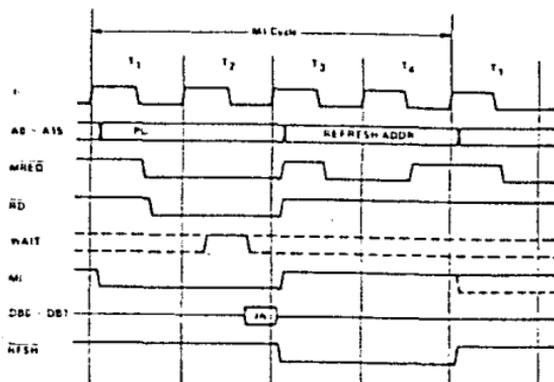
- 1.- Desactiva el Flip-Flop de interrupción.
- 2.- Coloca al registro I en 00H.
- 3.- Coloca el registro R en 00H.
- 4.- Coloca el modo de interrupción en modo 0.

Durante el tiempo de reset, el bus de datos y direcciones adquieren alta impedancia y todas las señales de control de salida se desactivan.

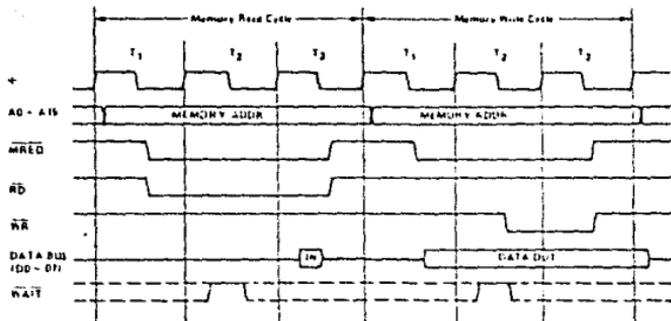
**BUSPQ** Señal de solicitud de bus. Señal de entrada verificada baja. Esta señal es empleada para que el CPU solicite el bus de direcciones o de datos y hace que el control de salida de tres estados se ponga en alta impedancia de tal forma que otros dispositivos puedan controlar estos buses.

**BUSAK** Señal de reconocimiento de bus. Señal de salida verificada baja. Esta señal es usada para indicar que el dispositivo solicitante del bus de datos, de direcciones y del bus de control de tres estados se encuentran en alta impedancia de tal forma que el dispositivo externo pueda controlar estos buses.

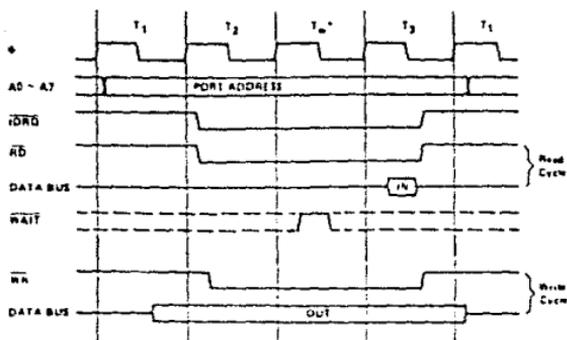
A continuación se muestran algunos diagramas de tiempos así como las características eléctricas del microprocesador Z80.



INSTRUCTION OF CODE FETCH



MEMORY READ OR WRITE CYCLES



INPUT OR OUTPUT CYCLES



## APENDICE D

### ZBOCTC

A continuación se mencionan las características más importantes del contador/cronómetro ZBOCTC así como sus diagramas de tiempos.

#### Arquitectura interna del ZBOCTC

En la figura D.1 se muestra un diagrama a bloques de la arquitectura interna del ZBOCTC. La lógica del bus de interface para el CPU permite al CTC interactuar directamente con el CPU sin necesidad de una lógica externa, aunque para sistemas grandes pueden ser requeridos decodificadores de direcciones y de puertos y/o buffers de línea.

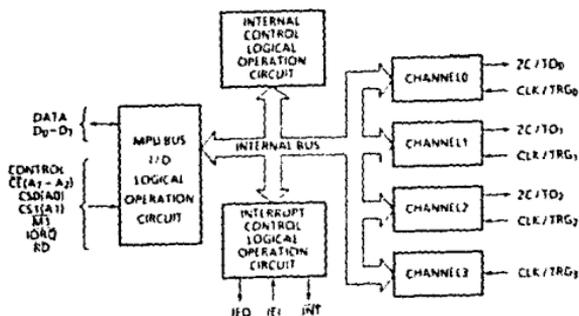


Fig D.1 Arquitectura interna del ZBOCTC.

#### Estructura de la lógica de canal

Esta lógica está formada por dos registros, dos contadores y una lógica de control. Los registros constan de un registro de constante de tiempo y un registro de control de canal, ambos de 8 bits. Los contadores constan de un contador regresivo de 8 bits que puede ser leído por el CPU y un prescalador de 8 bits.

## Lógica y registro de control de canal

La lógica y registro de control de canal pueden ser escritos por el CPU para seleccionar los modos y parámetros del canal. En un CTC existen cuatro de estos registros los que corresponden a los cuatro canales de contador-cronómetro. Dependiendo del código binario seleccionado en las entradas CS0 y CS1 se habilitará alguno de los cuatro canales del CTC. La palabra de control que se utiliza para programar el registro de control del canal tiene 8 bits. El bit menos significativo siempre estará en "1" lógico, los siete bits restantes se emplean para seleccionar las diferentes alternativas de operación.

### El preescalador

El preescalador puede ser utilizado únicamente en el modo de contador, el preescalador es un dispositivo interno del CTC de 8 bits que puede ser programado por el CPU a través del registro de control de canal para dividir su salida (el reloj del sistema), en 16 o 256 intervalos. Cada vez que el contador regresivo llega a cero, genera un pulso positivo a su salida (ZC/TO) y se carga con el valor del registro de la constante de tiempo.

### Registro de constante de tiempo

Este es un registro de 8 bits, que puede ser utilizado en cualquiera de los dos modos, contador o cronómetro, el cual es programado por el CPU justo después de la palabra de control de canal, con una constante entera de tiempo con valor desde 1 hasta 256.

### El contador regresivo

El contador regresivo es un registro de 8 bits que puede ser utilizado en los dos modos, cargado inicialmente y cada vez que se llega a la cuenta de cero por el registro de constante de tiempo. El contador regresivo se decrementa por cada flanco de reloj en el modo de contador; en el modo de cronómetro por la salida del preescalador. Cualquier canal del CTC puede ser programado para generar una secuencia de solicitud de interrupción cada vez que llega a la cuenta de cero. En los canales 0, 1 y 2, cuando la condición de cuenta cero se alcanza, un pulso aparece en la terminal asignada ZC/TO. Por limitantes del empaquetado el canal 3 no tiene esta cualidad, por lo que sus usos quedan limitados para cuando no se requiera esta señal de salida.

### Lógica de control de interrupciones

La lógica de control de interrupciones asegura que el CTC trabaje en forma coordinada con el protocolo del sistema de interrupciones por medio de prioridad de anidamiento así como del regreso de la interrupción. La prioridad de cualquier dispositivo del sistema se determina por su posición física en una

configuración de datos *data*. Dos líneas de señales (IEI e IEO) son provistas en los dispositivos de CTC para formar la cadena de prioridad. El dispositivo que se encuentre más cercano al CPU tiene la prioridad más alta. En el CTC la prioridad de interrupción está dada por el número de canal, teniendo el cero la más alta y el tres la menor.

Un canal del CTC puede ser programado para que cada vez que alcance una cuenta a cero se realice una solicitud de interrupción. Por otro lado, si la entrada IEI está activada indicando que tiene prioridad en la cadena, colocará un vector de interrupción en el bus de datos del sistema.

#### Descripción de terminales del Z80CTC

En esta sección se describe el funcionamiento de cada una de las terminales del circuito Z80CTC. En la figura D.2 se muestra la disposición de las terminales del Z80CTC.

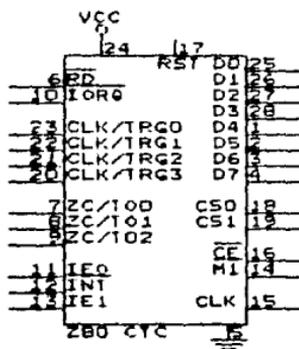


Fig D.2 Configuración de terminales del Z80CTC.

**D7-D0** Bus de datos. Bus bidireccional de tres estados. El bus se conecta directamente al bus de datos del Z80CPU.

**CS<sub>0</sub>-CS<sub>1</sub>** Selector de canal. Entradas verificadas bajas. Estos dos bits de entrada forman un código binario de dos bits de dirección para seleccionar alguno de los cuatro canales independientes para una lectura o escritura de entrada/salida.

**CE** entrada para habilitar el circuito. Entrada verificada baja. Una señal verificada baja presente en esta terminal, activa al CTC para recibir palabras de control, vectores de interrupción o palabras con datos de constantes de tiempo del bus de datos del

ZBO durante un ciclo de escritura de E/S o para transmitir el contenido del contador regresivo al CPU durante un ciclo de lectura de E/S.

CLK (f) reloj del sistema (entrada). Este reloj es de una sola fase que se usa para sincronizar algunas señales internas del CTC.

MI Señal de ciclo de máquina uno del CPU. Es una entrada verificada baja. Cuando las señales MI y RD se activan, el CPU estará realizando el ciclo de fetch de una instrucción. Cuando se activan las señales MI y IORQ, el CPU está reconociendo una interrupción, previniendo al CTC de colocar un vector de interrupción en el bus de datos, si es que existe una cadena de prioridades daisy chain y si alguno de sus canales ha solicitado la interrupción.

IORQ Solicitud de entrada salida por el CPU. Entrada verificada baja. Esta señal se utiliza con las señales de CE y RD para transferir datos y palabras de control del canal entre el CPU y el CTC. Durante un ciclo de escritura del CTC, IORQ, y CE deben verificarse bajo y la señal de RD debe verificarse alta. El CTC no recibe una señal específica de escritura, genera la suya a partir del inverso de la señal RD. En un ciclo de lectura del CTC, IORQ, CE y RD deben de estar activados para colocar los contenidos del contador regresivo en el bus de datos del CPU. Si la señal IORQ y MI son verificadas altas, el CPU está reconociendo una solicitud de interrupción, y el canal que interrumpe de mayor prioridad colocará su vector de interrupción en el bus de datos del CPU.

RD ciclo de lectura del CPU. La señal de RD se emplea acompañada con la de IORQ y la de CE para transferir datos y palabras de control del canal entre el ZBOCPU y el CTC. Durante un ciclo de escritura del CTC, IORQ, RD y CE deben de estar verificadas bajas. En un ciclo de lectura del CTC, IORQ, CE y RD deben de estar activados para colocar el contenido del registro regresivo en el bus de datos del ZBO CPU.

IEI entrada de activación de interrupción. Esta señal es usada para facilitar la formación del sistema de interrupciones daisy chain que abarque todo el sistema, estableciendo la jerarquías o prioridades de interrupción cuando existen más de un dispositivo periférico con capacidad de interrupción. Una señal alta en esta terminal indica que no se están llevando a cabo rutinas de servicio de interrupción en dispositivos de mayor jerarquía.

IEO salida de activación de interrupción. La señal de IEO, en conjunto con la de IEI, se usa para formar la jerarquía de interrupción de un sistema daisy chain. IEO se encuentra en estado alto sólo que la IEI lo este y es cuando el CPU no está realizando ninguna rutina de servicio de interrupción de algún canal del CTC. Entonces esta señal bloquea a los dispositivos de menor jerarquía para poder interrumpir cuando otro dispositivo de mayor jerarquía ha interrumpido.

INT solicitud de interrupción. Esta señal adquirirá un

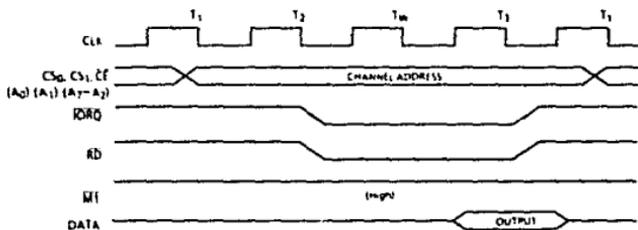
valor alto cuando cualquier canal del CTC ha sido programado para generar interrupciones cada vez que la cuenta del contador regresivo llegue a cero.

**RESET** reestablecimiento. Esta señal detiene la actividad de todos los canales de conteo y reestablece los bits de solicitud de interrupción de todos los controles de registros de cada canal y por lo tanto deshabilita la capacidad de generar interrupciones al CTC. Las entradas  $EO\ T0$  e  $INT$  se desactivan y el bus de salida se coloca en alta impedancia.

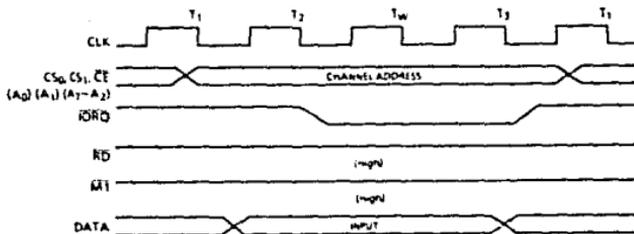
$CLK\ TRG3-CLK\ TRG0$  disparador externo de contador/cronómetro. Esta señal es una entrada la cual se puede seleccionar ya sea para verificarse alta o baja. Existen cuatro terminales  $CLK\ TRG$ , una para cada uno de los cuatro canales independientes. En el modo de contador, todos los flancos de activación en esta terminal decrementan el contador regresivo. En el modo de timer, la misma señal inicia el cronometraje.

$EO\ T02-EO\ T00$  cero de cuenta/contador regresivo. Salida verificada alta. Existen tres terminales  $EO\ T0$ , correspondientes a los canales del 0 al 2 (debido a las limitantes del empaquetamiento, el canal tres no tiene terminal). En cualquiera de los modos de funcionamiento, cuando el contador regresivo llega a cero se genera un pulso de subida en la salida.

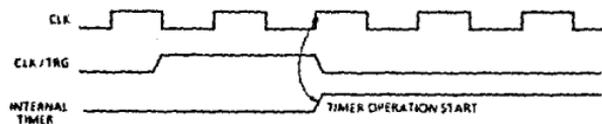
A continuación se muestran los diagramas de tiempos del ZBOCTC así como algunas características eléctricas.



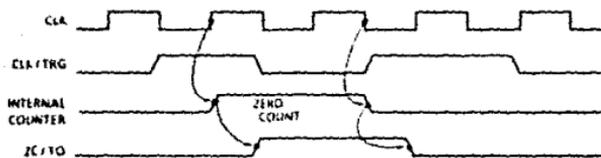
Read Timing



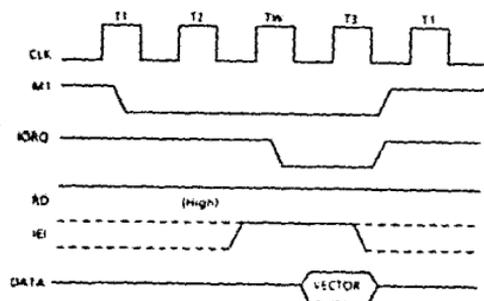
Write Timing



Timer Mode Timing



Counter Mode Timing



Interrupt Acknowledge Timing

Características eléctricas del Z80CTC.

SYMBOL	ITEM	RATING
VCC	Vcc Supply Voltage with respect to Vss	- 0.5V to 7V
VIN	Input Voltage	- 0.5V to VCC + 0.5V
PD	Power Dissipation (TA = 85°C)	250mW
TSOLDER	Soldering Temperature (Soldering Time 10 sec)	260°C
TSTG	Storage Temperature	- 65°C to 150°C
TOPR	Operating Temperature	- 40°C to 85°C

AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (IN ACTIVE STATE)

TA = -40°C - + 85°C, VCC = 5V ± 10%, VSS = 0V

NO	SYMBOL	PARAMETER	TMPZ84C011AF (4MHz)			TMPZ84C011AF-6 (6MHz)			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
1	TcC	Clock Cycle Time	-	250	-	-	165	-	ns
2	TwCh	Clock Pulse Width (High)	-	110	-	-	70	-	ns
3	TwCl	Clock Pulse Width (Low)	-	110	-	-	70	-	ns
4	TfC	Clock Fall Time	-	15	-	-	12	-	ns
5	TtC	Clock Rise Time	-	15	-	-	12	-	ns
6	TdCr(A)	Clock ↑ to Address Valid Delay	-	-	110	-	-	90	ns
7	TdA(MREQ)	Address Valid to MREQ ↓ Delay	-	60	-	-	32	-	ns
8	TdCl(MREQ)	Clock ↓ to MREQ ↓ Delay	-	-	85	-	-	70	ns
9	ToCr(MREQ)	Clock ↑ to MREQ ↑ Delay	-	-	85	-	-	70	ns
10	TwMREQH	MREQ Pulse Width (High)	-	105	-	-	62	-	ns
11	TwMREQL	MREQ Pulse Width (Low)	-	220	-	-	135	-	ns
12	TdCl(MREQ)	Clock ↓ to MREQ ↑ Delay	-	-	85	-	-	70	ns
13	TdCl(RD)	Clock ↓ to RD ↓ Delay	-	-	95	-	-	80	ns
14	ToCr(RD)	Clock ↑ to RD ↑ Delay	-	-	85	-	-	70	ns
15	Td(C)	Data Setup Time to Clock ↑	35	-	-	30	-	-	ns
16	THD(RD)	Data Hold Time to RD ↑	0	-	-	0	-	-	ns
17	TsWAIT(C)	WAIT Setup Time to Clock ↓	70	-	-	60	-	-	ns
18	THWAIT(C)	WAIT Hold Time after Clock ↓	10	-	-	10	-	-	ns
19	ToCr(M1)	Clock ↑ to M1 ↓ Delay	-	-	100	-	-	80	ns
20	ToCr(M1)	Clock ↑ to M1 ↑ Delay	-	-	100	-	-	80	ns
21	ToCr(RFSH)	Clock ↑ to RFSH ↓ Delay	-	-	130	-	-	110	ns
22	ToCr(RFSH)	Clock ↑ to RFSH ↑ Delay	-	-	120	-	-	100	ns
23	TdCr(RD)	Clock ↓ to RD ↓ Delay	-	-	85	-	-	70	ns
24	ToCr(RD)	Clock ↑ to RD ↓ Delay	-	-	85	-	-	70	ns
25	Ts(C)	Data Setup to Clock ↓ during M2, M3, M4 or M5 Cycles	50	-	-	40	-	-	ns
26	TdA(MREQ)	Address Stable prior MREQ ↓	-	180	-	-	110	-	ns

## APENDICE E

### CONVERTIDOR ANALOGICO-DIGITAL ADC0808

A continuación se muestra el diagrama esquemático del convertidor analógico-digital ADC0808.

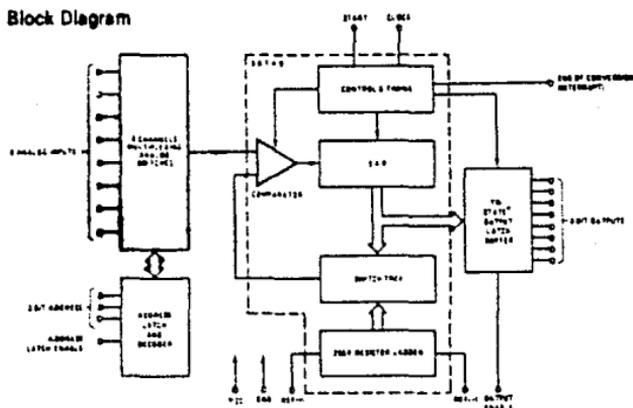


Figura E.1 Diagrama esquemático del convertidor ADC0808.

#### El multiplexor

El multiplexor se activa aplicando un pulso a la terminal de ALE (Address Latch Enable), por medio de la cual se selecciona el canal correspondiente en el decodificador mediante la transición de un nivel bajo a nivel alto. La selección de los canales de entrada se lleva a cabo por medio de las líneas de entrada A, B, C, las cuales se conectan directamente al bus de direcciones o datos del microprocesador.

Líneas de Selección

Canal Analógico

C	B	A
0	0	0
0	0	1
0	1	0
0	1	1
1	1	0
1	0	1
1	1	0
1	1	1

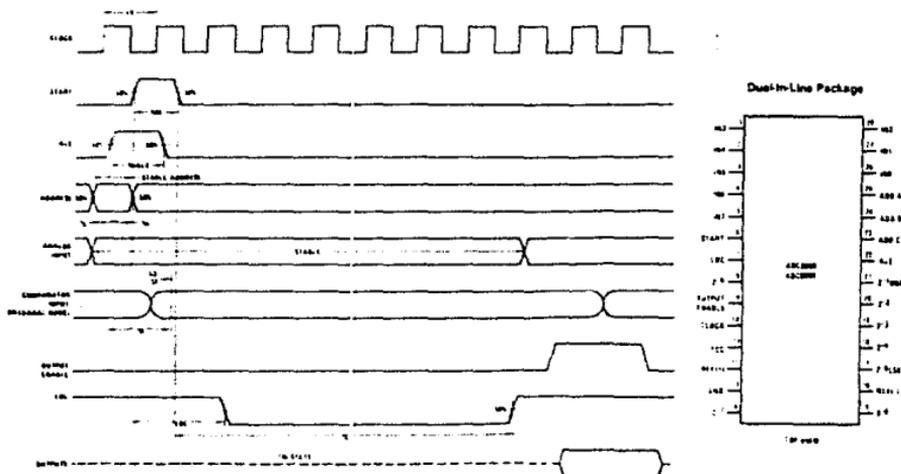
- Canal 1
- Canal 2
- Canal 3
- Canal 4
- Canal 5
- Canal 6
- Canal 7
- Canal 8

El convertidor

El convertidor está diseñado para ofrecer una alta exactitud y precisión sobre un amplio rango de variación de temperatura. El módulo del convertidor está dividido en tres secciones: Un arreglo de resistencias (red de 256R), un registro de aproximaciones sucesivas (SAR) y un comparador. Las salidas digitales del convertidor son verificadas altas.

Se debe tener en cuenta el rango de voltajes para ser convertidos, ya que si por ejemplo tenemos que  $V_{cc}=V_{ref}=5V$ , entonces el rango de escala completa será dividido entre 256. Así pues, el voltaje más pequeño de conversión para que la palabra de 8 bits se incremente será aproximadamente de 20mV.

A continuación se muestra la configuración de terminales, los diagramas de tiempos y las características eléctricas del convertidor ADC0808.



## Electrical Characteristics

Timing Specifications:  $V_{CC} = V_{REF} = 5V$ ,  $V_{AUX} = GND$ ,  $t_{PL} = 20$  ns and  $T_A = 25^\circ C$  unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
$t_{MS}$	Minimum Start Pulse Width	(Figure 5)		100	200	ns
$t_{MUS}$	Minimum ALE Pulse Width	(Figure 5)		100	200	ns
$t_{AS}$	Minimum Address Set-Up Time	(Figure 5)		25	50	ns
$t_{AH}$	Minimum Address Hold Time	(Figure 5)		25	50	ns
$t_{D}$	Analog MUX Data Time From ALE	$H_3 = DU$ (Figure 5)		1	2.5	$\mu s$
$t_{OL1-16}$	OE Control to 0 Logic State	$C_L = 50$ pF, $R_L = 10k$ (Figure 8)		125	250	ns
$t_{OL16}$	OE Control to Hi-Z	$C_L = 10$ pF, $R_L = 10k$ (Figure 8)		125	250	ns
$t_C$	Conversion Time	$f_C = 640$ kHz (Figure 5) (Note 7)	80	100	116	$\mu s$
$f_C$	Clock Frequency		10	640	1280	kHz
$t_{EDC}$	EDC Delay Time	(Figure 5)	0		$8 \pm 2$	Clock Periods
$C_{IN}$	Input Capacitance	All Control Inputs		10	15	pF
$C_{OUT}$	TRISTATE® Output Capacitance	All TRISTATE® Outputs (Note 12)		10	15	pF

Converter Specifications:  $V_{CC} = 5V$ ,  $V_{IN} = V_{REF} = V_{AUX} = GND$ ,  $T_{MIN} = T_A = T_{MAX}$  and  $f_C = 640$  kHz unless otherwise stated

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
ADCODE					
Total Unadjusted Error (Note 5)	$25^\circ C$ $T_{MIN}$ to $T_{MAX}$			$\pm 1.2$	LSB
ADCODE				$\pm 3.4$	LSB
Total Unadjusted Error (Note 5)	$0^\circ C$ to $70^\circ C$ $T_{MIN}$ to $T_{MAX}$			$\pm 1$	LSB
				$\pm 1.14$	LSB
Output Resistance	From Ref = 1 to Ref = 1	10	25		$\Omega$
Analog Input Voltage Range	(Note 4), $V_{IN} = 10$ pF, $V_{IN} = 1$	GND-0.10		$V_{CC} - 0.10$	$V_{CC}$
$V_{REF(+)}$ Voltage Top of Ladder	Measured at Ref = 1		$V_{CC}$	$V_{CC} \pm 0.1$	V
$\frac{V_{REF(+)} - V_{REF(-)}}{2}$ Voltage Center of Ladder		$V_{CC}/2 \pm 0.1$	$V_{CC}/2$	$V_{CC}/2 \pm 0.1$	V
$V_{REF(-)}$ Voltage Bottom of Ladder	Measured at Ref = 1	-0.1	0		V
Comparator Input Current	$f_C = 640$ kHz (Note 6)	$\pm 0.2$	$\pm 0.5$	2	$\mu A$

## Electrical Characteristics

Digital Levels and DC Specifications: ADC0608DCI, 4.5V <  $V_{CC}$  < 5.5V,  $-55^\circ C < T_A < 125^\circ C$  unless otherwise noted  
ADC0608DCI, ADC1608DCI, and ADC0608DCN, 4.75V <  $V_{CC}$  < 5.25V,  $-40^\circ C < T_A < 85^\circ C$  unless otherwise noted

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
<b>ANALOG MULTIPLEXER</b>					
$I_{CH(1)}$	1/2 Channel Leakage Current	$V_{CC} = 5V$ , $V_{IN} = 5V$ $T_A = 25^\circ C$ $T_{MIN}$ to $T_{MAX}$	10	200	nA
				10	$\mu A$
$I_{CH(2)}$	1/2 Channel Leakage Current	$V_{CC} = 5V$ , $V_{IN} = 0$ $T_A = 25^\circ C$ $T_{MIN}$ to $T_{MAX}$	-100	-10	nA
				-10	$\mu A$
<b>CONTROL INPUTS</b>					
$V_{IN(1)}$	1/2 Channel 1 Input Voltage		$V_{CC} - 1.5$		V
$V_{IN(2)}$	1/2 Channel 0 Input Voltage			1.5	V
$I_{IN(1)}$	1/2 Channel 1 Input Current The Control Inputs	$V_{IN} = 15V$		1.0	$\mu A$
$I_{IN(2)}$	1/2 Channel 0 Input Current The Control Inputs	$V_{IN} = 0$		-1.0	$\mu A$
$I_{CO}$	1/2 Channel Current	$f_C = 640$ kHz		0.3	3.0 mA