

29
28/4



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

MICROCOMPUTADORA MONOTABLILLA

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P r e s e n t a n :

ABEL CLEMENTE REYES

EDUARDO ALBERTO CASTELLANOS LOPEZ

Director: M. en I. ROBERTO DAZA GOMEZ TORRES



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.

P R O L O G O .

La tecnología digital representa uno de los mayores adelantos dentro del campo de la electrónica, ya que debido a su gran versatilidad ha podido ser empleada como herramienta útil dentro de un gran número de áreas de interés del saber humano, que van desde la simple generación de entretenimiento, hasta la complicada implementación de prótesis artificiales de órganos vitales dentro del cuerpo de algunos seres vivos. El desarrollo de este tipo de tecnología se ha efectuado de manera acelerada en el transcurso de tan solo algunos cuantos años.

Actualmente, los sistemas que actúan en forma digital han desplazado en gran medida a los sistemas analógicos, ya que los primeros permiten la implementación de algoritmos más sofisticados mediante los cuales se logra un mejor modelado de las condiciones de operación, aparte de contar con un mejor aislamiento contra el ruido, situación que además los ha favorecido notablemente. Por otra parte, una ventaja substancial que presenta un sistema digital respecto a uno analógico consiste en poder modificar parcialmente o totalmente el algoritmo al que está sujeto, sin necesidad de modificar su estructura interna, esto es, pueden existir en operación dos sistemas digitales con estructura interna idéntica, pero sin embargo contar con algoritmos de operación diferentes, pudiendo ejecutar por lo tanto funciones totalmente distintas y sin ninguna relación entre sí. Tomando en cuenta lo anterior, no resulta difícil entender la razón por la cual los principales campos en los que se emplean los sistemas digitales vienen a ser los referentes a la medición e instrumentación de procesos industriales así como a la computación. Por todo lo anterior, nos limitaremos durante el desarrollo de todo este estudio a tratar algunos temas propios de dichos campos, con el objetivo fundamental de diseñar un sistema digital capaz de tomar algún tipo de decisión, mediante el auxilio de un microprocesador; a este tipo de sistemas se les denota comúnmente como inteligentes.

Por otra parte, cuando se combinan adecuadamente los sistemas digitales de medición e instrumentación con una computadora - lo que se puede esperar como producto es un sistema de control que no se limita a operar digitalmente, sino que también es inteligente.

te , ya que es capaz de tomar algun tipo de decisión. Por lo tanto, dentro del desarrollo de nuestro estudio podremos notar que -- estese puede considerar dividido en cuatro áreas diferentes que son a saber : la medición e instrumentación de algunos parámetros físicos; la computadora como herramienta para procesamiento de información; teorías básicas de control de procesos industriales; y por último el diseño, así como la implementación de nuestra herramienta.

Los temas de los capítulos I y II estan orientados al tratamiento de tópicos referentes a la medición e instrumentación en -- tanto que en el capitulo III ubicaremos el panorama de aplicación de nuestro proyecto, dentro de lo que son los sistemas de control.

Como se mencionó, la computadora es tan solo una herramienta -- con que cuentan los sistemas de control, por lo tanto en los capítulos IV y V nos abocaremos a estudiar a los sistemas de cómputo con el fin de conocer sus características fundamentales, mismas -- que seran plasmadas en nuestro diseño. Por último en el desarrollo del capítulo VI , así como en el del VII se limitara de manera concreta el proyecto a desarrollar, procediendo inmediatamente despues a su implementación física, así como a la ejecución de ciertas pruebas que nos garanticen su funcionamiento.

Por ultimo mencionaremos que si bién el objetivo de este proyecto es diseñar una computadora orientada a la solución de problemas de control, siendo dentro de esta clase de proposito general, -- debe ser el usuario quien proporcione tanto la situación de aplicación, así como el algoritmo que desea se implemente dentro de las rutinas a programar dentro de lo que corresponde al sistema maestro de administración de recursos, el cual también se conoce como programa monitor o simplemente como monitor.

INDICE GENERAL POR CAPITULOS .

CAPITULO	I	TRANSDUCTORES .	PAG. 1
CAPITULO	II	ACTUADORES .	PAG. 43
CAPITULO	III	SISTEMAS DE CONTROL .	PAG. 77
CAPITULO	IV	MICROCOMPUTADORAS .	PAG. 101
CAPITULO	V	DISPOSITIVOS PERIFERICOS , CONVERTIDORES A/D y D/A, INTERFASES DE ALTO NIVEL .	PAG. 135
CAPITULO	VI	DISEÑO DE LA MICROCOMPU- TADORA .	PAG. 165
CAPITULO	VII	IMPLEMENTACION Y PRUEBAS DE CAMPO .	PAG. 207

I.- TRANSDUCTORES.

- I.1 Definición general.
- I.2 Clasificación de los diferentes tipos de transductores.
- I.3 Principios en que basan su funcionamiento.
- I.4 Errores más comunes que se presentan en los transductores.
- I.5 Niveles de señal de los transductores industriales.
- I.6 Adecuación de los niveles de señal respecto a sistemas digitales.
- I.7 Criterio de selección de transductores.
- I.8 Bibliografía.

I.1 DEFINICION GENERAL.

Los transductores en diferentes maneras han sido definidos como dispositivos capaces de transferir 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 en una tubería de vapor, una máquina de escribir, un violín o aún el tostador de pan podrían ser considerados como transductores de acuerdo a éstas definiciones - tan generales.

En el campo de la electroacústica emplear el término "transductor" para referirse a una aguja fonográfica, una bocina o algún otro elemento irradiador de sonidos, debe meditarse detenidamente. El uso indiscriminado de la palabra "transductor" en algunas áreas es resultado de la confusión existente. Este término en la Ingeniería se restringe por lo tanto, al campo de la medición e instrumentación de control.

En 1969 la Sociedad de Instrumentos de América (ISA) - publicó su norma S 37.1. Esta norma denominada "Nomenclatura y terminología de 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. La salida es la magnitud eléctrica producida por un transductor, la cual es función del mesurando empleado. "Únicamente la última de estas tres definiciones se aplica específicamente a transductores eléctricos, si no apareciera la palabra eléctrica también sería aplicable dicha definición a transductores con otro tipo de salida.

Por otra parte, la norma ISA S37.1-1969 también es aplicable a la constitución de la nomenclatura de los transductores como se puede apreciar en la tabla 10.1 de la referencia (2).

En la mayoría de los transductores se presenta la condición de tener al mesurando como elemento sensible por lo cual se llega a considerar que un sensor es un transductor. Es conve

niente 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 modulado 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.

I.2 CLASIFICACION DE LOS DIFERENTES TIPOS DE TRANSDUCTORES.

Los transductores se pueden clasificar de una manera muy amplia si consideramos todos los factores que los puedan caracterizar. Si llegamos a clasificarlos tomando en cuenta todos los factores, tales como: usos y aplicaciones, tipo de elemento transductor que utilizan, principio de funcionamiento, si son autoexcitados o no, etc., se estaría profundizando demasiado en este tema, y no es el propósito de este trabajo, por lo que nos concretaremos a una clasificación en cuanto al principio de funcionamiento.

Los transductores se clasifican de acuerdo a su principio de funcionamiento en:

capacitivos	piezoeléctricos
electromagnéticos	potenciométricos
inductivos	resistivos
reluctivos	termoeléctricos
fotovoltaicos	fotoeléctricos
fotoconductivos	por ionización
por efecto Hall	indicadores de esfuerzo (straingage)

I.3 PRINCIPIOS EN QUE BASAN SU FUNCIONAMIENTO.

A continuación se explica el funcionamiento de los transductores más usuales de acuerdo a la clasificación dada.

TRANSDUCTOR CAPACITIVO.

Basa su funcionamiento en un capacitor, que consiste esencialmente de dos placas conductoras separadas por un dieléctrico. La entrada que se tiene y que está dada por el elemento sensor es un desplazamiento de las placas, o un cambio - en las características del dieléctrico.

La salida obtenida es una variación de la capacitancia. Este tipo de transductor se emplea principalmente para medir desplazamientos, áreas, nivel de líquidos, etc. Figura I.3.1

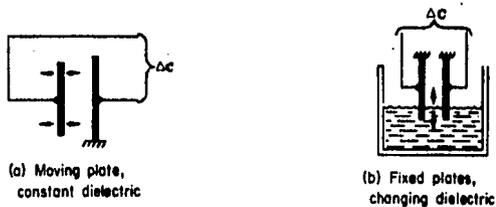


Fig. I.3.1 Transductor capacitivo.

TRANSDUCTOR INDUCTIVO;

La variable física a medir se transforma a un voltaje inducido por una bobina, esto se logra variando la propia inducción de la bobina; generalmente esto se efectúa mediante el desplazamiento del núcleo de la bobina, el cual está ligado a un elemento sensor. Figura I.3.2.

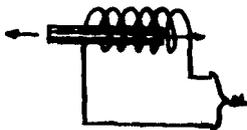


Fig. I.3.2 TRANSDUCTOR INDUCTIVO.

TRANSDUCTOR RELUCTIVO:

En este tipo de transductores la variable física se transforma a un voltaje de alterna por medio de un cambio en la reluctancia entre dos o más devanados (1). El cambio en la reluctancia es usualmente logrado por un desplazamiento del núcleo magnético. Un transductor muy usado de este tipo es el transformador diferencial, el cual, es formado por una bobina excitada con voltaje alterno y dos bobinas en el circuito secundario; la transducción se logra al desplazar el núcleo de su posición original (3). Ver figura I.3.3.

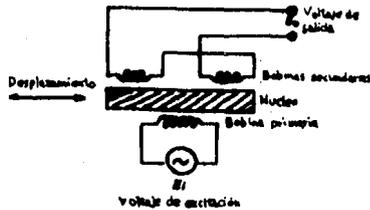


Fig. I.3.3 Transductor reluctivo.

TRANSDUCTOR ELECTROMAGNETICO:

Este transductor mantiene en forma proporcional la variable a medir, a una fuerza electromotriz (fem) inducida en un conductor, la cual se refleja en una salida de voltaje. La fem inducida se obtiene al variar el flujo magnético, y esto se hace moviendo un magneto o material magnético, ya que en este tipo de transductor se tiene ausencia de excitación externa. Ver figura I.3.4.

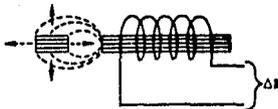


Fig. I.3.4 Transductor electromagnético.

TRANSDUCTOR FOTOVOLTAICO;

Este dispositivo basa su operación en las propiedades que tienen ciertos materiales semiconductores, que colocados entre dos placas de metal, forman una unión muy especial llamada celda fotovoltaica (3). En esta celda se genera un voltaje entre las placas al hacer incidir un haz de luz sobre la placa más delgada. Este principio se emplea primordialmente para medir intensidad luminosa, pero puede utilizarse también en otro tipo de transductores. Ver figura I.3.5.

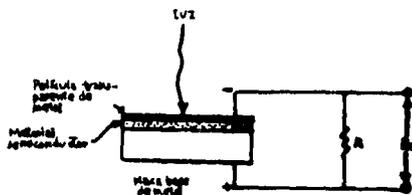


Diagrama esquemático de una celda fotovoltaica.

Fig. I.3.5 Transductor fotovoltaico.

TRANSDUCTOR PIEZOELECTRICO:

Funciona de acuerdo a las propiedades que presentan ciertos cristales denominados piezo-eléctricos. En dichos cristales se produce una diferencia de potencial, al someterlos a una deformación producto de alguna fuerza de tensión o compresión. El elemento sensor se puede colocar directamente en el cristal o por medio de un miembro mecánico.

Estos transductores se emplean generalmente para mediciones de fuerza y presión de nivel sonora, Ver fig. I.3.6.

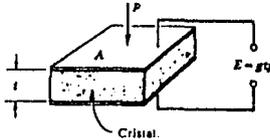


Fig. I.3.6 Transductor piezoelectrico.

TRANSDUCTORES POTENCIOMETRICOS:

En este tipo de transductores el elemento sensor está conectado a un cursor de un potenciómetro. Generalmente el potenciómetro está ligado a un circuito excitado por una fuente de corriente alterna o directa. La salida que se tiene es el voltaje entre un extremo del potenciómetro y el extremo móvil de éste.

Estos dispositivos son empleados para medir desplazamientos ya sean angulares o lineales, sin embargo mediante sistemas mecánicos se utilizan para convertir una presión o una fuerza en un desplazamiento. Ver figura I.3.7.

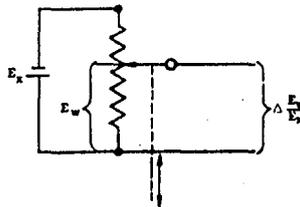


Fig .. I.3.7 Transductor potenciométrico.

TRANSDUCTORES RESISTIVOS;

Los transductores resistivos relacionan la modificación de la variable a medir con una variación de la resistencia de algún material. El cambio de las propiedades resistivas de un material se logra al variar la temperatura, al aplicar esfuerzos mecánicos al material, etc. Por otra parte si se utilizara como material alguna sal electrolítica se podrían obtener buenas variaciones de resistencia.

Este tipo de transductor tiene múltiples usos y se puede adecuar a varias aplicaciones. Ver figura I.3.8

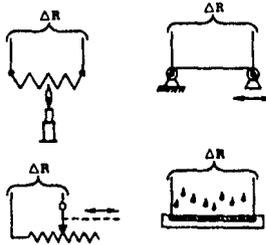


Fig. I.3.8 Transductores resistivos.

TRANSDUCTORES FOTOCONDUCTIVOS:

En estos transductores, la transducción se realiza en virtud del fenómeno que se presenta en algunos materiales semiconductores al incidir luz sobre ellos, ya que se observa una variación en su conductividad eléctrica (3).

Estos transductores son ampliamente usados para medir radiaciones en todas las longitudes de onda, pero también se pueden emplear para medir desplazamientos, presión o pequeñas -

fuerzas, Figura I.3.9

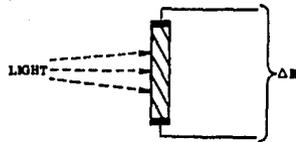


Fig. I.3.9 Transductores fotoconductivos.

TRANSDUCTORES FOTOELECTRICOS:

Un transductor de este tipo convierte un haz de luz - en una señal eléctrica. Lo anterior se basa en el hecho de que al incidir un haz luminoso sobre el cátodo de un metal especial, se provoca una liberación de electrones, los cuales se pueden - atraer hacia el ánodo para producir una corriente eléctrica.

Estos transductores generalmente son usados con propósitos de conteo. Ver figura I.3.10

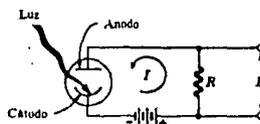


Fig. I.3.10 transductores fotoelectricos.

TRANSDUCTORES POR IONIZACION:

Este transductor convierte un desplazamiento a un voltaje, el cual se obtiene al variar una capacitancia. Básicamente este dispositivo está formado por un tubo lleno de algún gas. Se coloca el tubo entre dos placas que están conectadas a un generador de radio frecuencia, el cual produce un campo eléctrico que hace que se ionice el gas y se produzca un voltaje entre las placas interiores del tubo. El voltaje generado depende de la separación entre las placas del generador y del acoplamiento capacitivo entre éstas y el tubo. La capacitancia varía al mover el tubo, con esto varía la ionización y por ende el voltaje. Figura I.3.11

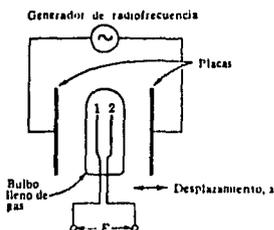


Fig. I.3.11 Transductores por ionización.

TRANSDUCTOR POR EFECTO HALL:

Este dispositivo se usa para medir campo magnético generalmente, y esto se logra en base al efecto Hall que se presenta en ciertos conductores. El efecto Hall consiste en hacer pasar una corriente por una placa conductora, entre dos de sus extremos, si se hace pasar el campo magnético por la placa en una dirección perpendicular a su superficie, se genera un voltaje entre los otros dos extremos. (3) Ver figura I.3.12

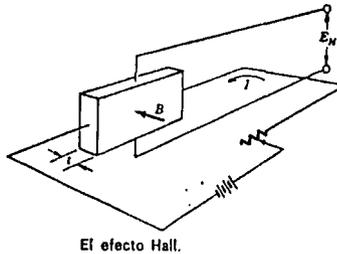


Fig. I. 3.12 Transductores por efecto Hall .

TRANSDUCTOR INDICADOR DE ESFUERZO (STRAINAGE):

Este transductor funciona en base a que en ciertos materiales conductores o semiconductores, se presenta una variación de su resistencia, al someterlos a esfuerzos mecánicos como elongaciones o contracciones. Estos dispositivos se utilizan generalmente para medición de espesores, presiones, esfuerzos, etc, pero pueden adecuarse para muchas otras aplicaciones. Ver - figura I.3.13

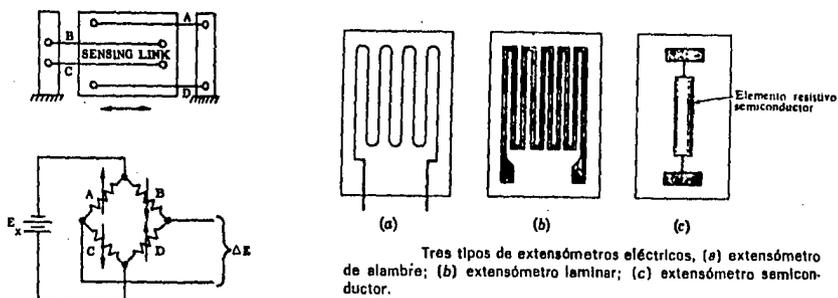


Fig . I.3.13 Transductor indicador de esfuerzo (Straingage).

TRANSDUCTOR TERMOELECTRICO:

Los transductores termoelectricos basan su operaci3n en el hecho de que al variar la temperatura, en algunos materia les se observan cambios en algunas de sus propiedades, e incluso se presentan fen3menos muy espeicales, como la generaci3n de voltaje.

Un caso t3pico de un transductor termoelectrico es el de un termopar, el cual se fabrica uniendo dos metales diferentes por un extremo, al variar la temperatura, se genera una diferencia de potencial en el punto de uni3n. Ver figura I.3.14

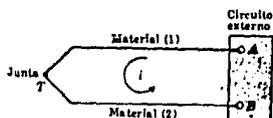


Fig. I.3.14 Transductor termoelectrico.

I.4 ERRORES MÁS COMUNES QUE SE PRESENTAN EN LOS TRANSDUCTORES

Los transductores, como se mencionó, pueden ser modelados mediante una función de transferencia ideal, la cual indicaría 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 ideales, métodos de producción, condiciones ambientales en el lugar de la 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 actual es limitada en relación a la producción de un transductor ideal diseñado para compensar su envejecimiento y las diferentes condiciones del medio en que va a encontrarse durante su operación.

De lo anterior podemos 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". (2)

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.

los cuales analizaremos con más detalle a continuación.

A) ERRORES ESTATICOS:

Esta clase de errores está relacionado únicamente 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:

DESLIZAMIENTO.- "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". (2)

ERRORES DE FRICCIÓN.- "Algunos transductores presentan una condición de error dado al deslizamiento por fricción" (1), esto es: "alteran su comportamiento por fricciones internas. Entendemos por error de fricción: "los máximos de la salida, bajo cualquier valor - del mesurando dentro de un ramo establecido antes y después de minimizar los efectos de la fricción interna del transductor por compensación (dithering)" (2) Ver figura I.4.1

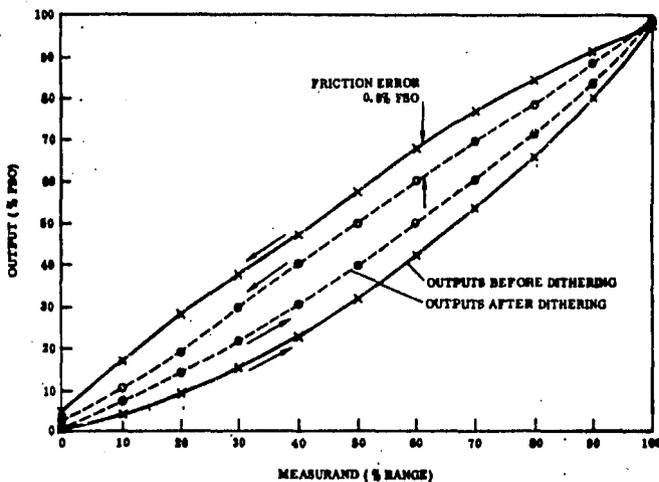


Fig. I.4.1 Errores de fricción.

COMPENSACION (DITHERING).- Se conoce como compensación (dithering) a "la aplicación de las mínimas fuerzas in- termitentes oscilatorias capaces de minimizar - los efectos de la fricción estática interna del transductor" (2).

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 una de otra. 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"

(1) Ver figura I.4.2

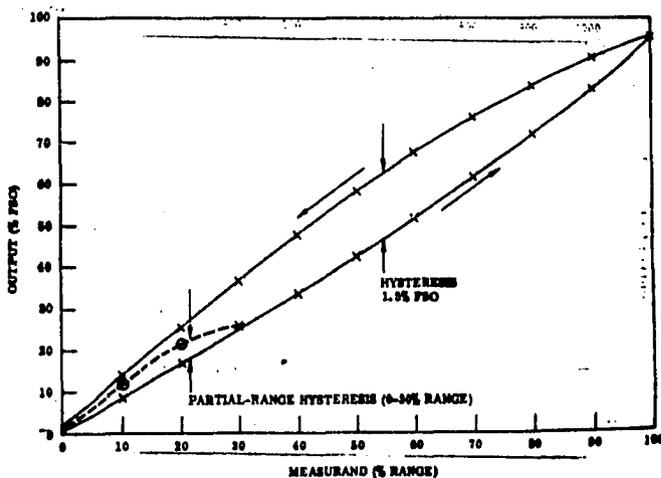


Fig. I.4.2 Histéresis.

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 es to facilita la manipulación de los datos; por lo tan to "la cercanía de la curva de calibración de un - transductor, a una línea recta especificada, se cono ce con el nombre de linealidad. La linealidad se ex presa como un porcentaje de plena escala, referido a la desviación de alguna medición respecto a su valor

en la línea recta especificada". (1)

LINEALIDAD DE LOS PUNTOS EXTREMOS.- Este tipo de linealidad se refiere a la diferencia que existe entre los puntos extremos y la línea recta especificada. Entendiéndose se por extremos la máxima variación que presenta la curva de calibración tanto por arriba como por abajo de la línea recta especificada entre las salidas máxima y mínima. Ver figura I.4.3

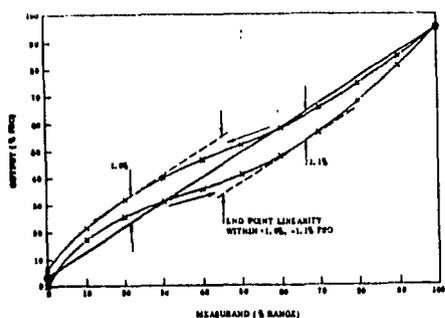


Fig. I.4.3 Linealidad extrema .

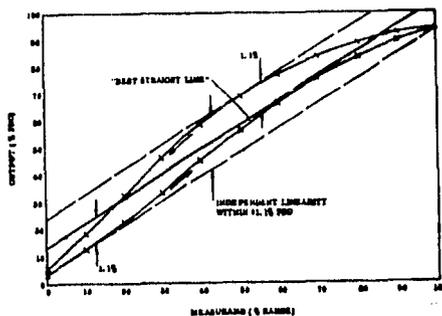


Fig. I.4.4 Linealidad independiente.

LINEALIDAD INDEPENDIENTE.- Se refiere a la "linealidad que guardan las salidas obtenidas respecto a la mejor línea recta" (2). 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" Ver figura - I.4.4

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 térmi-
 no residuo se refiere a las desviaciones de las lec-
 turas de salida respecto a los puntos que les co-
 rrespondería dentro de la línea recta calculada"(1)

LINEALIDAD CON PENDIENTE TEORICA.- "Este tipo de linealidad está
 referida a la línea recta entre los puntos extremos
 técnicos" (1) "Entendiéndose por puntos extremos a-
 aquellos en que se establece la curva teórica y en -
 los que no se aplican tolerancias" (2) Ver figura -
 I.4.5

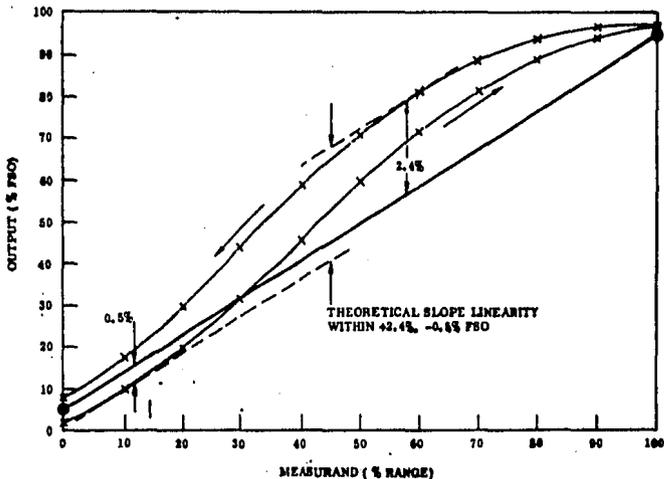


Fig I.4.5 Linealidad con pendiente teórica.

LINEALIDAD TERMINAL- "Es un caso especial que se presenta en la
 linealidad con pendiente teórica, en el cual los pun-
 tos extremos teóricos son exactamente el 0% y el 100%
 del mesurando y la salida de plena escala" (1) Ver -
 figura I.4.6

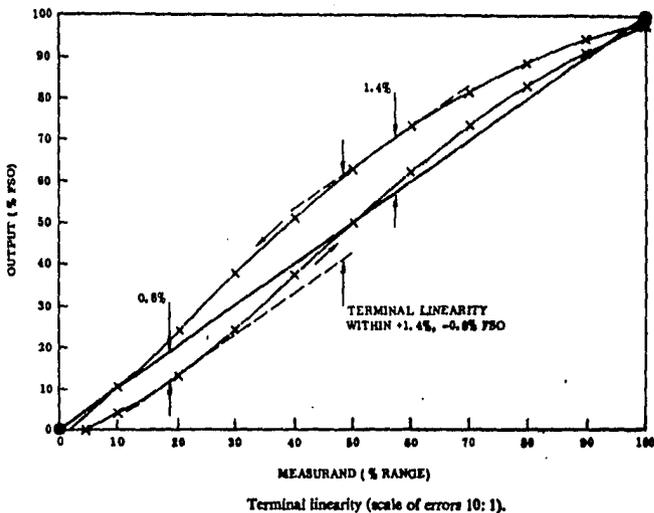


Fig. I.4.6 Linealidad terminal.

REPETITIVIDAD.- Se entiende por repetitividad de un transductor - la habilidad que posee éste, para reproducir el valor de la salida cuando se aplica el mismo valor del medurando en diferentes ocasiones, bajo las mismas con d ic io n e s en l a m i s m a d i r e c i o n e n l a m i s m a d i r e c i o n. Ver figura I.4.7

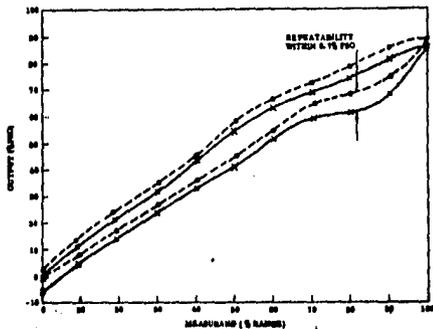


Fig. I.4.7 Repetitividad.

CORRIMIENTO EN LA SENSIBILIDAD.- "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" (2)

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

B) ERRORES DEBIDOS A LA INFLUENCIA DEL MEDIO AMBIENTE.

Como es fácil de suponer, tiene gran importancia el tomar en cuenta la influencia que sobre los transductores ejercen las alteraciones del medio ambiente en el que 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 ACELERACION.- Esta clase de errores se determina mediante "la máxima diferencia, de cualquier valor del mesurando en un rango determinado, entre lecturas obtenidas de la salida antes y después de la aplicación de una aceleración constante en el sentido de algún eje específico" (2)

ERROR DE LA PRESION AMBIENTAL.- Se cuantifica mediante "la máxima diferencia que existe entre las salidas, de cualquier valor del mesurando en un ramo específico, cuando la presión ambiental varía entre valores específicos" (2)

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" (2)

ERROR DEBIDO AL GRADIENTE DE TEMPERATURAS.- "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" (2)

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 cosas extremas, en los límites del rango de temperaturas de operación.

CORRIMIENTO TERMICO DEL CERO.- En este caso se tiene "el corrimiento del cero, debido a un cambio de la temperatura ambiente, desde condiciones controladas hasta los casos extremos en los límites de la región de temperaturas de operación" (2)

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" (2)

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 solo mencionaremos 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 en un lapso determinado, en el cual la modificación no es función del mesurando" (2)

su montaje y al realizar las conexiones eléctricas 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 con salida en forma directa, en la ausencia de variaciones del mesurando" (2)

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

ERROR EN LA PRESION DE REFERENCIA. Este tipo de errores resulta de "la variación de la presión de referencia en un - transductor de presión diferencial, dentro de un rango de referencias. Entendiéndose por presión de referencia aquella que es tomada como base en el transductor, para detectar cambios" (2)

ESTABILIDAD: Se entiende como "la habilidad del transductor para mantener sus características de operación semejantes, en un intervalo grande de tiempo" (2)

ERROR DEBIDO A ESFUERZOS: "Los errores que resultan de la aplicación de esfuerzos en el área en la cual se encuentra montado el transductor" (2)

SENSIBILIDAD TRANSVERSAL: La podemos interpretar físicamente - como la sensibilidad del transductor hacia aceleraciones transversales o algún otro tipo de mesurando en - el sentido perpendicular a su eje de medición principal.

I.5. NIVELES DE SEÑAL DE TRANSDUCTORES INDUSTRIALES.

La finalidad de este subtema es particularizar un poco más el estudio de los transductores, limitándonos únicamente al análisis de las características comerciales de cuatro transductores diferentes relativos a: presión, posición, temperatura y luminosidad. A continuación se tratará cada uno de los casos antes mencionados.

I.5.1 TRANSDUCTORES DE PRESION.

Existe una enorme variedad de medidores de presión - que se fabrican bajo diferentes principios de transducción, según sea el rango y la precisión que se necesite.

Se tienen transductores para presión absoluta y, para presión diferencial. En algunos de éstos transductores de presión se toma como referencia para la medición la presión del vacío y en otros se considera la presión a nivel del mar.

De varios transductores comerciales que se analizaron, se observa que operan para rangos de presión muy variados. Se tiene por ejemplo para transductores de presión absoluta rangos de:

0 a 1.71 bar, 0 a 40 bar para bajas presiones,

y

0 a 60 bar, 0 a 1000 bar para altas presiones.

En transductores de presión diferencial se tienen rangos de operación tan pequeños como:

de 0 a .025 mbar hasta rangos tan amplios de 1500 bar.

La mayoría de los transductores de presión entregan - una salida estandarizada de 0 a 40 mA, y algunos la proporcionan en uno o varios niveles de voltaje.

El tipo de energía que requieren estos dispositivos - para su excitación es usualmente proporcionada por fuentes de - 24 Vdc, y algunos llegan a usar 117 Vca.

A continuación se proporcionan algunas características comunes en la mayoría de los transductores de presión (5, 6).

RANGOS DE PRESION: Varían notablemente en cada modelo de transductor.

SALIDA: 0 a 40 mA.

IMPEDANCIA DE CARGA: 0 - 600 ohms a 24 Vdc. (ver figura I.5.1.1)

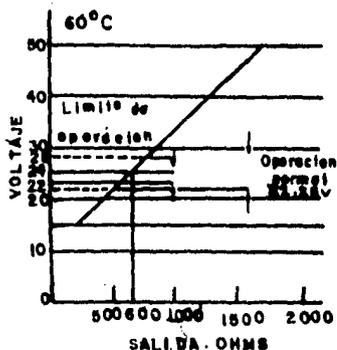


Fig. I.5.1.1 Impedancia de carga.

Límite de presión - 150% del rango máximo

Humedad - operación al 100%

Ajuste a cero - 100% de ajuste

Temperatura de operación - de -20 a 120°C

Elemento sensor - diafragma

Exactitud - 0.2% a 0.5%

Algunos de los transductores que tienen características similares a las anteriores son varios modelos fabricados por Westinghouse Electric Corporation y Rosemount Inc., como lo son los modelos 75PA1 Veritrak y 1144 respectivamente.

I.5.2 TRANSDUCTORES DE POSICION.

Los transductores de desplazamiento y de nivel son un ejemplo claro de transductores de posición, ya que un desplazamiento implica el movimiento de un punto de una posición a otra, así como también hay un cambio de posición cuando varía el nivel

de un líquido.

Hay varios tipos de transductores de posición que se usan para diferentes aplicaciones, como lo son los usados para medir las vibraciones y expansiones que se presentan en partes de máquinas, así como para la medición de posición de flechas - y rotación de ángulos, etc.

Se puede disponer comercialmente de transductores para varios rangos de variación, pero algunos de uso común tienen las siguientes características de entrada/salida:

Transductor para medir la posición de ejes y para expansiones relativas de partes de máquinas:

ENTRADA	SALIDA
rango: a) 1, 2, 6, 12, 21 mm	0 a 40 mA
b) 48 a 63 mm	o 10 a 50 mV
c) 84 mm	

Transductor de desplazamiento lineal:

a) 0 a 50 mm	
b) 0 a 100 mm	0 a 40 mA
c) 0 a 200 mm	o 10 a 50 mV

En transductores para variaciones angulares se tiene para ángulos de 0 a 90°.

Transductores con características como las anteriores son fabricados por Siemens o Westinghouse, entre otros fabricantes.

I.5.3 TRANSDUCTORES DE TEMPERATURA.

Como ya se mencionó, el elemento eléctrico más comúnmente empleado para detectar variaciones de temperatura es el termopar, el cual está constituido por dos metales de composición diferente, unidos en dos puntos que tienen temperaturas desiguales. Uno de los dos puntos se encuentra a una temperatura conocida, la cual es tomada como referencia, conociéndose dicha unión con el nombre de "punta fría". Por otra parte, la segunda unión, que se conoce como "punta caliente", es empleada con fines de medición ya que como se encuentra a una temperatura desconocida y seguramente distinta a la referencia se produce una diferencia de potencial debido al

empleo de metales distintos, Ver figura I.5.3.1

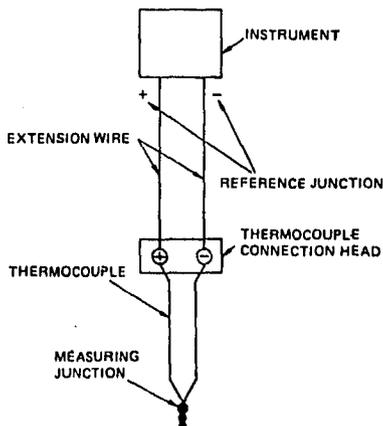


Fig. I.5.3.1 termopar..

En la fabricación de termopares se puede emplear una gran variedad de materiales distintos sin embargo debido a los diferentes requerimientos industriales se ha procurado normar las combinaciones de metales termoeléctricos. Una combinación específica se conoce como "tipo" o "calibración". Las calibraciones más comunes se han designado mediante una letra en particular según el Instituto Americano de Normas Nacionales. (American National Standards Institute A.N.S.I.), en base a lo establecido originalmente por la Sociedad de Instrumentos de América (I.S.A.), "Las calibraciones antes mencionadas se muestran en la tabla I. 5.3.A

Los rangos de temperatura que se recomiendan están dados en base a los errores establecidos como límites; fuera de dichos rangos el funcionamiento de los dispositivos se puede ver afectado grandemente.

ANSI Calibration Code	Positive Leg	Negative Leg	Recommended Temperature Range *F (°C) of Protected IC**	Application Information
J	Iron ThermoKanthal JP*	Constantan* Cupron* Advance* ThermoKanthal JN*	32 to 1400 (0 to 760)	Suitable for vacuum, reducing, or inert atmospheres, oxidizing atmospheres with reduced life. Iron oxidizes rapidly above 1000°F (538°C) so only heavy gauge wire is recommended for high temperature. Bare elements should not be exposed to sulphurous atmospheres above 1000°F (538°C).
K	Chromel* Tophel* T ₁ * ThermoKanthal KP*	Alumel* Nial* T ₂ * ThermoKanthal KN*	32 to 2300 (0 to 1260)	Recommended for continuous oxidizing or neutral atmospheres. Mostly used above 1000°F (530°C). Subject to failure if exposed to sulphur. Preferential oxidation of chromium in positive leg at certain low oxygen concentrations causes "green rot" and large negative calibration drifts most serious in the 1500-1900°F range (816-1038°C). Ventilation or inert-sealing of the protection tube can prevent this.
T	Copper	Constantan* Cupron* Advance*	-300 to +700 (-184 to +371)	Useful in oxidizing, reducing, or inert atmospheres, as well as vacuum. Not subject to corrosion in moist atmospheres. Limits of error published for sub-zero temperature ranges.
E	Chromel* Tophel* T ₁ * ThermoKanthal KP*	Constantan* Cupron* Advance* ThermoKanthal JN*	32 to 1600 (0 to 871)	Recommended for continuously oxidizing or inert atmospheres. Sub-zero limits of error not established. Highest thermoelectric output of common calibrations.
R S	Platinum — 13% Rhodium Platinum — 10% Rhodium	Platinum Platinum	1000 to 2700 (538 to 1482)	Recommended for high temperature. Must be protected with non-metallic protection tube and ceramic insulators. Continued high temperature usage causes grain growth which can lead to mechanical failure. Negative calibration drift caused by rhodium diffusion to pure leg as well as from rhodium volatilization. Type R is used in industry; type S in the laboratory.
B	Platinum — 30% Rhodium	Platinum — 6% Rhodium	1600 to 3100 (871 to 1705)	Same as R & S but output is lower. Also less susceptible to grain growth and drift.
None	Tungsten — 5% Rhenium (W-5Re)	Tungsten — 26% Rhenium (W-26Re)	32 to 4200 (0 to 2315)	Very high temperature applications in inert or vacuum. Preferred over Tungsten/Tungsten — 26% Rhenium because less brittle at low temperatures.
None	Tungsten (W)	Tungsten — 26% Rhenium (W-26Re)	32 to 4200	Very high temperature applications in inert or vacuum. Heating to above 2192°F creates a loss of ductility at room temperature. This embrittlement creates mechanical weakness.
None	Tungsten — 3% Rhenium (W-3Re)	Tungsten — 25% Rhenium (W-25Re)	32 to 4200	The ductility of the W3Re leg is superior to pure Tungsten, but not as good as W5Re. This combination has highest output of the 3 common Tungsten Rhenium calibrations from 1860 to 4200°F.
None	Platinel* 5355	Platinel* 7674	32 to 2300 (0 to 1260)	Noble metal combination which approximates type K curve but has much improved oxidation resistance. Should be treated as any noble metal calibration.

**The Recommended Temperature Range is that temperature range for which limits of error have been established.

*Trade names. Chromel, Alumel: Hoskins Mfg. Co.; T₁, T₂, Advance: Driver-Harris Co.; Nial, Tophel: Wilbur B. Driver Co. ThermoKanthal KP and KN: The Kanthal Corp.; Platinel: Engelhard Industries.

Tabla I.5.3.A

Type	Temperature Range °C (°F) for Standard Limits of Error	Standard Limits of Error	Temperature Range °C (°F) for Special Limits of Error	Special Limits of Error
J	0 to 293 (32 to 559) 293 to 760 (559 to 1400)	± 2.2°C (± 4°F) ± 0.75%	0 to 275 (32 to 527) 275 to 760 (527 to 1400)	± 1.1°C (± 2°F) ± 0.4%
K	-200 to -110 (-328 to -166) -110 to 0 (-166 to 32) 0 to 293 (32 to 559) 293 to 1250 (559 to 2282)	± 2%* ± 2.2°C (± 4°F)* ± 2.2°C (± 4°F) ± 0.75%	0 to 275 (32 to 527) 275 to 1250 (527 to 2282)	** ** ± 1.1°C (± 2°F) ± 0.4%
T	-200 to -67 (-328 to -89) -67 to 0 (-89 to 32) 0 to 133 (32 to 271) 133 to 350 (271 to 662)	± 1.5%* ± 1°C (± 1.8°F)* ± 1°C (± 1.8°F) ± 0.75%	0 to 125 (32 to 257) 125 to 350 (257 to 662)	** ** ± 0.5°C (± 0.9°F) ± 0.4%
E	-200 to -170 (-328 to -274) -170 to 0 (-274 to 32) 0 to 340 (32 to 644) 340 to 900 (644 to 1652)	± 1%* ± 1.7°C (± 3.1°F)* ± 1.7°C (± 3.1°F) ± 0.5%	0 to 250 (32 to 482) 250 to 900 (482 to 1652)	** ** ± 1°C (± 1.8°F) ± 0.4%
R	0 to 600 (32 to 1112) 600 to 1450 (1112 to 2642)	± 1.5°C (± 2.7°F) ± 0.25%	0 to 600 (32 to 1112) 600 to 1450 (1112 to 2642)	± 0.6°C (± 1.1°F) ± 0.1%
S	0 to 600 (32 to 1112) 600 to 1450 (1112 to 2642)	± 1.5°C (± 2.7°F) ± 0.25%	0 to 600 (32 to 1112) 600 to 1450 (1112 to 2642)	± 0.6°C (± 1.1°F) ± 0.1%
B	800 to 1700 (1472 to 3092)	± 0.5%	800 to 1700 (1472 to 3092)	—

*Thermocouples and thermocouple materials are supplied to meet the limits of error specified for temperatures above 0°C. A thermocouple material may not conform to the published sub-zero limits of error for that material when purchased, unless conformance is agreed to between customer and Barber-Colman when ordering.

**Special limits of error for sub-zero temperatures have not yet been established. The following limits for calibrations E and T are useful to start discussion between customer and Barber-Colman.

—200 to 0°C

Type E ±1°C or ±0.5%, whichever is greater

Type T ±0.5°C or ±0.8%, whichever is greater

Sub-zero limits of error for Type J and sub-zero special limits of error for Type K are not considered because of the characteristics of the materials.

Tabla I.5.3.B

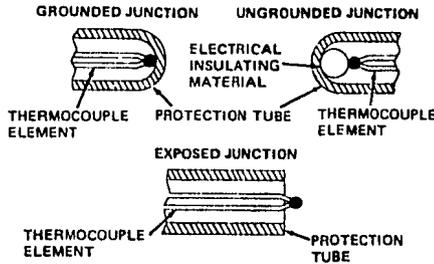


Fig. I.5.3.2

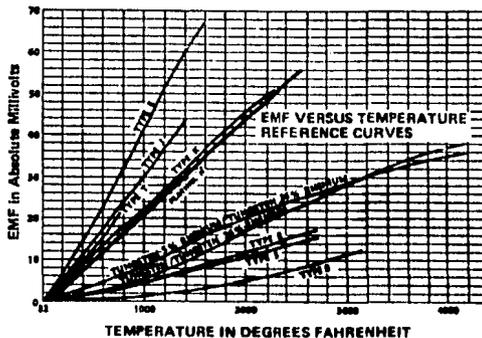


Fig. I.5.3.3

Type	Temperature Range °C (°F) for Standard Limits of Error	Standard Limits of Error	Temperature Range °C (°F) for Special Limits of Error	Special Limits of Error
J	0 to 293 (32 to 559) 293 to 760 (559 to 1400)	± 2.2°C (± 4°F) ± 0.75%	0 to 275 (32 to 527) 275 to 760 (527 to 1400)	± 1.1°C (± 2°F) ± 0.4%
K	-200 to -110 (-328 to -166) -110 to 0 (-166 to 32) 0 to 293 (32 to 559) 293 to 1250 (559 to 2282)	± 2%* ± 2.2°C (± 4°F)* ± 2.2°C (± 4°F) ± 0.75%	0 to 275 (32 to 527) 275 to 1250 (527 to 2282)	** ** ± 1.1°C (± 2°F) ± 0.4%
T	-200 to -67 (-328 to -89) -67 to 0 (-89 to 32) 0 to 133 (32 to 271) 133 to 350 (271 to 662)	± 1.5%* ± 1°C (± 1.8°F)* ± 1°C (± 1.8°F) ± 0.75%	0 to 125 (32 to 257) 125 to 350 (257 to 662)	** ** ± 0.5°C (± 0.9°F) ± 0.4%
E	-200 to -170 (-328 to -274) -170 to 0 (-274 to 32) 0 to 340 (32 to 644) 340 to 900 (644 to 1652)	± 1%* ± 1.7°C (± 3.1°F)* ± 1.7°C (± 3.1°F) ± 0.5%	0 to 250 (32 to 482) 250 to 900 (482 to 1652)	** ** ± 1°C (± 1.8°F) ± 0.4%
R	0 to 600 (32 to 1112) 600 to 1450 (1112 to 2642)	± 1.5°C (± 2.7°F) ± 0.25%	0 to 600 (32 to 1112) 600 to 1450 (1112 to 2642)	± 0.6°C (± 1.1°F) ± 0.1%
S	0 to 600 (32 to 1112) 600 to 1450 (1112 to 2642)	± 1.5°C (± 2.7°F) ± 0.25%	0 to 600 (32 to 1112) 600 to 1450 (1112 to 2642)	± 0.6°C (± 1.1°F) ± 0.1%
B	800 to 1700 (1472 to 3092)	± 0.5%	800 to 1700 (1472 to 3092)	—

*Thermocouples and thermocouple materials are supplied to meet the limits of error specified for temperatures above 0°C. A thermocouple material may not conform to the published sub-zero limits of error for that material when purchased, unless conformance is agreed to between customer and Barber-Colman when ordering.

**Special limits of error for sub-zero temperatures have not yet been established. The following limits for calibrations E and T are useful to start discussion between customer and Barber-Colman.

—200 to 0°C
Type E ± 1°C or ± 0.5%, whichever is greater
Type T ± 0.5°C or ± 0.8%, whichever is greater

Sub-zero limits of error for Type J and sub-zero special limits of error for Type K are not considered because of the characteristics of the materials.

Tabla I.5.3.B

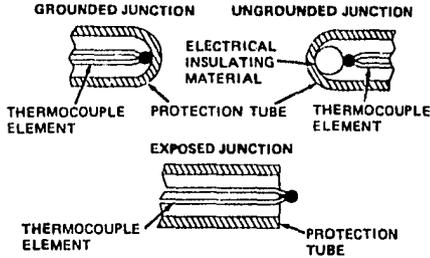


Fig. I.5.3.2

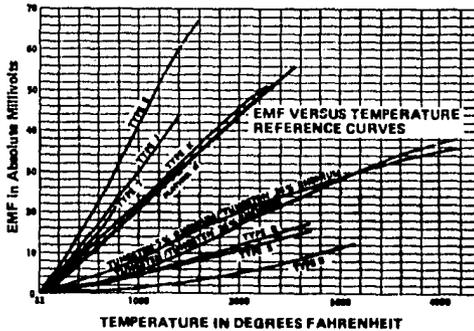


Fig. I.5.3.3

Por otra parte, cuando se requieren dispositivos de gran longitud, se emplean aditamentos llamados "extensiones", que consisten de dos metales de la misma constitución que el termopar pero con un grado de pureza menor al de éste. Esto es con el fin de abatir los costos de fabricación y a la vez proporcionar una mayor distancia entre la referencia y el sensor". (4)

Se ha hecho mención a errores que se toman como límites en la calibración de termopares los cuales interpretaremos como las máximas desviaciones permisibles en la lectura de cierta temperatura para una calibración dada. Normalmente se especifican dos niveles distintos de errores límites; el primero comprende los errores estandarizados y el segundo los errores especiales. Generalmente los errores especiales tienen un valor igual a la mitad de la magnitud de un error estandar. En la tabla I.5.3.B se pueden apreciar diferentes errores límite según las especificaciones de A.N.S.I.

Es conveniente hacer notar que los termopares se pueden ensamblar en tres formas diferentes si se consideran diferentes protecciones. Estos tres casos son: unión aterrizada, unión aislada y unión expuesta, estos casos se pueden apreciar en la figura I.5.3.2. El empleo de alguno de estas versiones depende de las condiciones en que se va a encontrar operando el termopar.

Por último, de acuerdo con la definición general de un transductor se da en la figura I.5.3.3 la curva que caracteriza la relación entre la entrada y la salida para los termopares antes clasificados.

Un ejemplo de termopares comerciales cuyas características son similares a las mencionadas es el Barcopak de la compañía Baiber Colman.

I.5.4 TRANSDUCTORES OPTOELECTRONICOS.

Este tipo de transductores convierten la energía radiante en energía eléctrica mediante el empleo de diferentes principios físicos.

Sabemos que la materia está constituida por átomos los cuales contienen electrones con diferentes niveles de energía se-

gún la teoría cuántica de Planck; por otra parte si a un electrón que se encuentra en determinado nivel se le proporciona cierta - cantidad específica de energía denominada quantum, éste brinca a un nuevo nivel electrónico liberando o absorbiendo la misma cantidad de energía cedida. "La gama de energías que pueden tener los - electrones sin que presenten tendencia de cambio de nivel se le de - nomina "banda de valencia", cuando por el contrario está presente dicha tendencia existe la posibilidad de una corriente eléctrica - teniéndose lo que se conoce como "banda de conducción". Entre es - tas dos bandas de energía se encuentra otra en la que no puede haber ningún electrón y que se denomina "banda prohibida". La ener - gía encasaria para hacer pasar un electrón de la banda de valencia a la de conducción puede serle comunicada por un fotón con energía $h\nu$ donde h es la constante de planck y ν es la velocidad de la ra - diación.

En un elemento fotosensible de unión, si un fotón de ener - gía $h\nu$, superior a la de actuación del semiconductor, incide en la unión polarizada inversamente, libra en el interior de la zona de - carga de espacio un par electrón-hueco. Gracias al intenso campo eléctrico existente, dicha carga queda recogida inmediatamente por la unión, originando con ello una corriente (llamada fotoeléctrica) prácticamente proporcional a la energía luminosa que lo ha produci - do" (7)

El dispositivo más simple de entre todos los elementos fotosensibles de unión, es el fotodiodo obtenido por el procedi - miento planar (ver figura I.5.4.1). Si dicho diodo se construye de tal modo que la zona de carga de espacio sea igual o mayor que la profundidad de penetración de los fotones y manteniendo la po - larización invertida, al incidir los fotones con un nivel adecua - do de energía se produce una corriente proporcional a la intensi - dad luminosa de excitación.

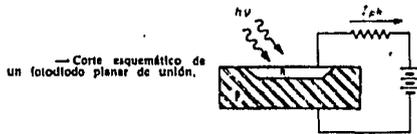


Fig. I.5.4.1 Fotodiodo.

Por otra parte, "los fototransistores se derivaron lógicamente del fotodiodo; la combinación añade en la salida del diodo, la ganancia de 50 a 100 debido al transistor. Normalmente, el colector se halla polarizado en sentido directo y la base se encuentra en "flotación". La energía radiante desarrolla cargas eléctricas en la región de la base, como haría normalmente la corriente de base." (8) En la figura I.5.4.2 se puede apreciar el corte esquemático de un fototransistor.

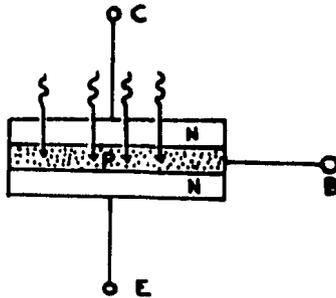


Fig. I.5.4.2 Fototransistor.

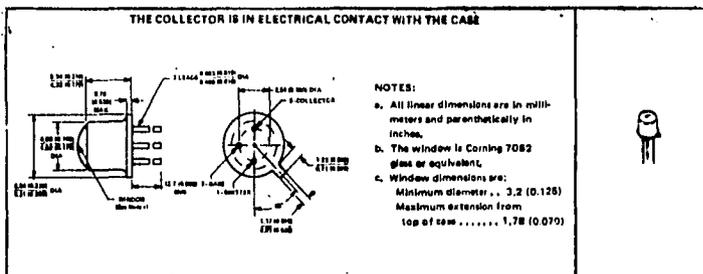
En este tipo de dispositivos la corriente de fuga, que es despreciable, se denomina "corriente oscura", mientras la corriente de operación se denomina "corriente luminosa".

A continuación se presentan las características más comunes de fotodiodos y fototransistores empleados en reconocimiento de caracteres, indicadores de velocidad, codificadores, (encoders), etc.

-Voltaje Base-Colector	50V
-Voltaje Emisor-Colector	30V
-Voltaje Base-Emisor	7V
-Voltaje Emisor-Colector	7V
-Corriente de Colector Continua	50 mA
-Corriente "oscura" I_D	
para: fototransistores	20 mA
fotodiodos	0.01 mA
-Corriente luminosa I_L para:	
fototransistores	22 mA
fotodiodos	170 mA

Ejemplos de dispositivos con características semejantes a las anteriores son los TIL-81 y TO-18 de Texas Instruments Inc.

Las curvas de comportamiento de estos dispositivos se pueden apreciar en las figuras I.5.4.1, I.5.4.2 y I.5.4.3



CURVAS CARACTERISTICAS DE DISPOSITIVOS OPTICOS.

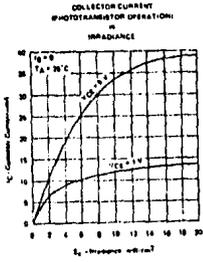


Fig. I.5.4.1

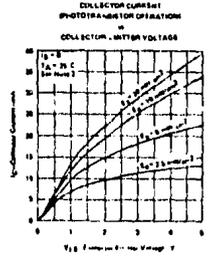


Fig. I.5.4.2

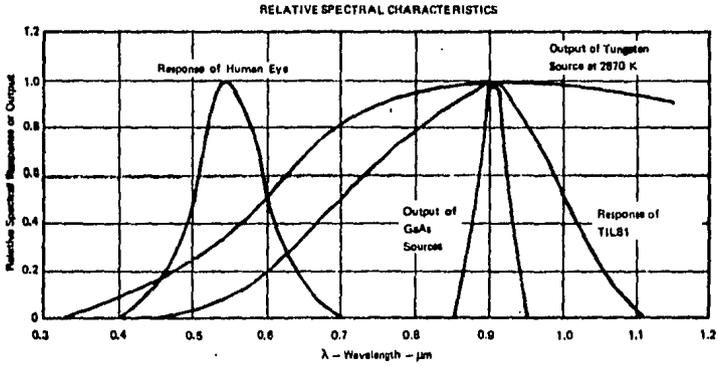


Fig. I.5.4.3

I.6 ADECUACION DE LOS NIVELES DE SEÑAL RESPECTO A SISTEMAS DIGITALES,

Los transductores comerciales antes mencionados covierten diferentes fenómenos físicos tales como presión, temperatura, etc., en señales eléctricas ya sean corrientes o voltajes analógicos, con rangos de valores muy variados, pudiendo ser de muy pequeña o muy grande magnitud; sin embargo, los sistemas digitales generalmente requieren señales de voltaje entre 0 y +5 volts por lo que es necesario adecuar las salidas de los transductores a dicho rango de valores. Entenderemos como adecuación de las señales de los transductores al conjunto de procesos a los que son sometidas dichas señales para ser reconocidas correctamente por un sistema digital. Entre los procesos más empleados se incluyen la amplificación o la atenuación de la señal, protección entre la entrada y la salida, la excitación del transductor, filtrado, aislamiento y compensación de las señales, aparte de la conversión de corriente a voltaje.

Es necesario amplificar las señales analógicas a niveles altos de voltaje; amplificadores de instrumentación son empleados con este fin ya que son térmicamente estables, seguros, rechazan grandes voltajes aplicados en modo común.

Por otra parte, "en muchas aplicaciones industriales se requiere que el sistema esté protegido contra conexiones accidentales de corriente alterna (A.C.) Esto puede suceder debido a un error de alambrado al instalar o bien por el contacto entre cables o una falla eléctrica. Comúnmente se proporciona protección a los sistemas hasta 240 Volts. A.C." (9)

"Las líneas que portan las señales provenientes de los transductores a menudo contienen señales externas que no representan el fenómeno físico que esta siendo medido. Este tipo de señales se denominan comúnmente como ruido. La variedad más común de ruido en ambientes industriales es del tipo de 60 Hz (Hertz) siendo su principal fuente la línea de suministro eléctrico. La reducción de cualquier tipo de ruido se puede lograr en general mediante el empleo de filtros analógicos instalados en las líneas

o bien mediante filtrados digitales durante el procesamiento de - la información" (9)

El aislamiento provee una trayectoria para que viaje la señal entre la entrada y la salida del sistema, sin que exista un contacto galvánico directo. (entendemos como contacto galvánico la unión física que se puede presentar entre dos o más conductores). Esto puede ser necesario cuando se presentan peligrosas - mallas de tierra o bien, voltajes de modo común de varios cientos de volts.

Existen básicamente tres técnicas diferentes para efectuar el aislamiento del sistema. Estas técnicas emplean ya sea módulos magnéticos en forma lineal (transformadores), métodos optoelectrónicos o bien capacitores volátiles. En el aislamiento magnético interviene la modulación de señales de AC de bajo nivel debido a los voltajes analógicos alimentados; después de esto, - las señales cruzan el transformador siendo demoduladas a la salida. Mediante el empleo de esta técnica se logra el aislar de varios miles de volts la entrada del sistema.

El aislamiento óptico es más simple que el anterior ya que consiste únicamente en transferir las señales desde un diodo emisor de luz (LED) hasta un transistor sensible a la luz. Mediante el empleo de esta técnica también se realiza un aislamiento de varios miles de volts en la entrada de sistema, con la ventaja que se logra en un menor espacio.

Por último la técnica de aislamiento que emplea capacitores volátiles basa su funcionamiento en capacitores que se conectan en forma alternada entre la entrada, con la cual adquieren cierta carga, y la salida, la cual mide los cambios existentes. - Tradicionalmente se han empleado relevadores para efectuar la conmutación entre dos posiciones; sin embargo, como este es un medio mecánico su vida útil no es muy prolongada, por lo cual dicha técnica no es muy empleada en la actualidad.

Como se ha mencionado los cuatro transductores comerciales, que hemos estudiado presentan los siguientes rangos de salida:

PRESION:

Presenta una corriente de salida entre Oy 40 miliampe-

res con una resistencia de carga de 600 Ohms, lo cual nos proporciona un voltaje de salida entre 0 y 24 Volts. En la figura I.6.1 se sugiere un circuito electrónico para adecuar la señal a un rango de voltajes entre 0 y +5 volts.

Salida: 0 - 40 mA con $R_L = 600 \Omega$
 de tener $R_L = 600 \Omega \Rightarrow$ Salida = 24 [volts]
 Se requiere que la salida sea de 5 volts
 $\therefore 5 = x \cdot 24 ; x = \frac{5}{24} = 0.2083$

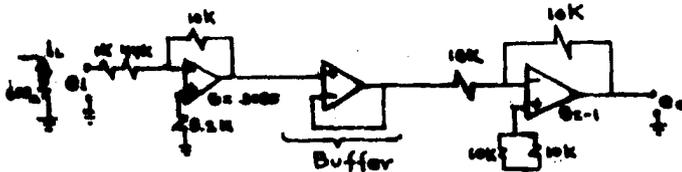


$$e_0 = - \frac{R_2}{R_1} e_i ; 5 = - \frac{R_2}{R_1} 24$$

$$- \frac{R_2}{R_1} = \frac{5}{24} = 0.2083 ; \frac{10}{48} = 0.2083$$

Si $R_2 = 10K\Omega \Rightarrow R_1 = 48K\Omega = 47K + 1K$

Circuito a emplear:



*fig. I.6.1

Resistencias Requeridas al 10% , 1/2 watt

Cantidad	Material
1	1K Ω
5	47K Ω
1	10K Ω
3	10K + 10K
	AMPLIFICACIONAL (BIVET) TLO82 u otro

POSICION:

Presenta dos tipos de salida, ya sea una corriente entre 0 y 40 miliamperes o bien un voltaje entre 10 y 50 milivolts. Aprovechando que se tiene una salida de - voltaje, en la figura I.6.2 se sugiere un circuito capaz de amplificar la señal hasta tenerla en un rango de 0 a +5 volts.

Salida entre 0 y 40 mA con 600 Ω ó bien 10 a 50 mV
 aprovechando la salida de voltaje entre 10 y 50 mV

Circuito a emplear

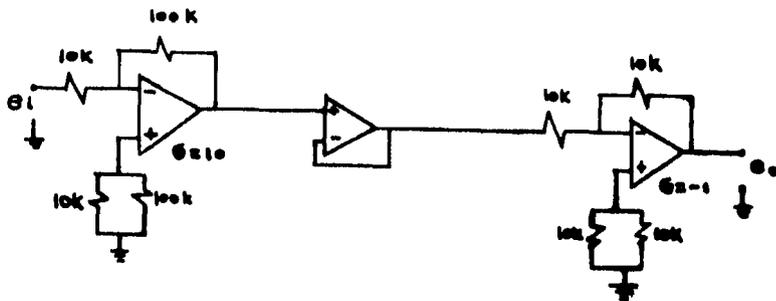


Fig. I.6.2 Circuito de adecuación.

TEMPERATURA:

Los diferentes termopares mencionados presentan una salida de voltaje entre 0 y 70 milivolts por lo tanto solo requerimos amplificar dichas señales para que varíen en un rango de 0 a +5 volts. La figura I.6.3 muestra un ejemplo de circuito capaz de efectuar dicha tarea.

J $0 \leq V \leq 44 \text{ mV}$; T $0 \leq V \leq 22 \text{ mV}$; R $0 \leq V \leq 16$; B $0 \leq V \leq 13$
 K $0 \leq V \leq 52 \text{ mV}$; E $0 \leq V \leq 60 \text{ mV}$; S $0 \leq V \leq 14$; # $0 \leq V \leq 81 \text{ mV}$

		GANANCIA	R1		
①	44 mV	③	113.64	8.8 k	19.36 k
②	52 mV	④	96.15	10.4 k	22.08 k
③	60 mV	⑤	73.53	13.6 k	29.92 k
④	22 mV	⑥	227.27	4.1 k	9.68 k
⑤	34 mV	⑦	147.06	6.8 k	14.96 k
⑥	16 mV	⑧	312.5	3.2 k	7.04 k
⑦	14 mV	⑨	357.14	2.8 k	6.16 k
⑧	12 mV	⑩	416.67	2.4 k	5.28 k

Circuito a emplear para transductores de temperatura.

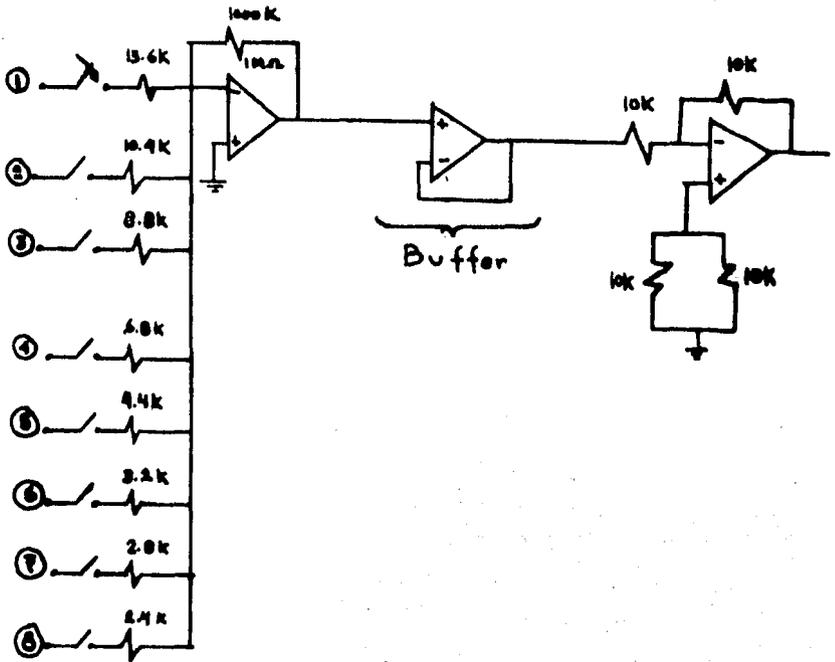


Fig. I.6.3 Circuito de adecuación.

OPTICOS

Como se analiza en dicha sección sabemos que los dispositivos optoelectrónicos más empleados son los fototransistores que presentan como salida la corriente luminosa I_l con un valor de 22 miliamperes o bien la corriente oscura I_d con un valor de 20 microamperes. En la figura I.6.4. se puede observar un circuito que convierte las corrientes a voltajes en un rango de 0 a +5 volts.

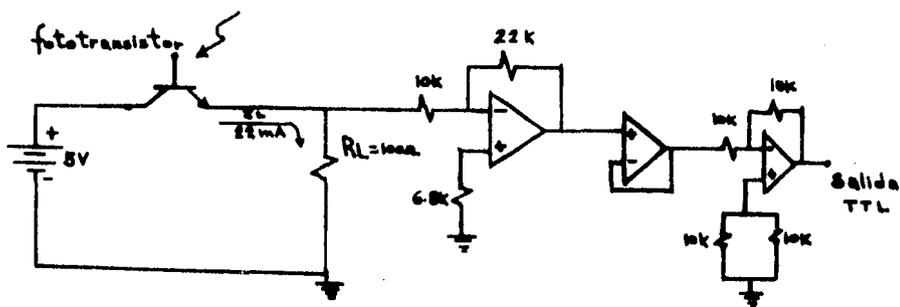


Fig. I.6.4 Circuito de adecuación.

I.7 CRITERIO PARA LA SELECCION DE TRANSDUCTORES.

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 vaya 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 mente cuando se va a realizar la selección de un transductor, pudiendo decirse que dichas consideraciones forman un criterio general de selección de transductores. Ver referencia (1)

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.- ¿Cuál es la naturaleza del fluido que se desea medir?
- 5.- ¿En dónde estará instalado el transductor y cuáles son las condiciones ambientales en torno a él?

Acerca de la Capacidad de los sistemas utilizados.

- 1.- ¿Qué sistemas de procesamiento, transmisión y desplegado de datos son usados?
- 2.- ¿Cuál es la exactitud y respuesta en frecuencia de los sistemas referidos antes mencionados?
- 3.- ¿Qué salida del transductor aceptará el sistema de transmisión con un mínimo de acondicionamiento?
- 4.- ¿Qué voltaje de excitación es más conveniente para el transductor?
- 5.- ¿Cuál es la carga que el sistema de transmisión le presta al transductor?
- 6.- ¿El sistema de transmisión proporciona suficientes limitantes para cuando se presente un funcionamiento anormal del transductor?
- 7.- Si fuera necesario filtrar la señal del transductor, ¿los sistemas de transmisión y procesamiento de datos pueden hacerlo?
- 8.- ¿Qué posibilidades se tienen para detectar y compensar errores?

En el diseño de transductores podemos considerar lo siguiente:

- 1.- ¿Cuáles son las limitaciones 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.- ¿Cuáles son los efectos físicos del mesurando sobre el transductor?
- 6.- ¿Cuál es el ciclo de vida mínimo del transductor?
- 7.- ¿Cuáles son las pruebas con las que se asegurará el funcionamiento de transductor?, ¿Qué tipo de pruebas son?, - ¿Están firmemente establecidas?
- 8.- ¿De qué manera puede llegar a fallar el transductor?, y si esto pasara ¿qué riesgos habría para los demás componentes u otras porciones del sistema de datos?
- 9.- ¿Cuál es el nivel técnico mínimo del personal que vaya a manejar, instalar y realizar el mantenimiento del transductor?

*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.

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 nuestras necesidades?
- 5.- ¿Cuál es el tiempo que se llevará en entrega, instalación y puesta en operación el transductor?.

I.8 B I B L I O G R A F I A

- 1.- "Handbook of transducers" Harry Norton. Ed. Prentice Hall Inc. 2a. Edición. 1969
- 2.- "Electronics Engineers Handbook" Donald D. Fink. Ed. Mc.Graw Hill. 1a. Edición 1975
- 3.- "Métodos experimentales para ingenieros" J.P. Holman. Ed. Mac Graw Hill. 1a. Edición. 1981
- 4.- "Controls for industrial processes" División de instrumentos industriales. Ed. Barber-Colman Company. Edición 1978
- 5.- "SINAUT Siemens network automation for gathering. transmissions and distribution networks" Ed. SIEMENS AG. Departamento de Automatización, Medición y Control de Procesos. Edición 1982
- 6.- "Westinghouse. VERITRAK Products". Boletines informativos de Westinghouse Electric Corporation. División de Computación e Instrumentación. Edición Marzo 1979
- 7.- "Optoelectrónica. Fundamentos teóricos y aplicaciones - prácticas" R. Damayo. Ed. Paraninfo. Madrid.
- 8.- "Electrónica. Fundamentos y aplicaciones". John D. Ryder Ed. Aguilar. 5a. Edición 1972
- 9.- "Real World interfacing. Personal computer signal processing" Bill Englemann y Mark Abraham. Ed. Revista "Byte. The small systems journal" Volumen 9 Número 4. Abril 1984

I.8 B I B L I O G R A F I A

- 1.- "Handbook of transducers" Harry Norton. Ed. Prentice Hall Inc. 2a. Edición. 1969
- 2.- "Electronics Engineers Handbook" Donald D. Fink. Ed. Mc.Graw Hill. 1a. Edición 1975
- 3.- "Métodos experimentales para ingenieros" J.P. Holman. Ed. Mac Graw Hill. 1a. Edición. 1981
- 4.- "Controls for industrial processes" División de instrumentos industriales. Ed. Barber-Colman Company. Edición 1978
- 5.- "SINAUT Siemens network automation for gathering. transmissions and distribution networks" Ed. SIEMENS AG. Departamento de Automatización, Medición y Control de Procesos. Edición 1982
- 6.- "Westinghouse. VERITRAK Products". Boletines informativos de Westinghouse Electric Corporation. División de Computación e Instrumentación. Edición Marzo 1979
- 7.- "Optoelectrónica. Fundamentos teóricos y aplicaciones - prácticas" R. Damayo. Ed. Paraninfo. Madrid.
- 8.- "Electrónica. Fundamentos y aplicaciones". John D. Ryder Ed. Aguilar. 5a. Edición 1972
- 9.- "Real World interfacing. Personal computer signal processing" Bill Englemann y Mark Abraham. Ed. Revista "Byte. The small systems journal" Volumen 9 Número 4. Abril 1984

CAPITULO II.- ACTUADORES.

II.1 Definición general.

II.2 Clasificación general y principios de operación.

II.3 Ventajas presentes en el uso de actuadores eléctricos.

II.4 Clasificación y principios de operación de actuadores eléctricos.

II.5 Niveles de señal de actuadores industriales.

II.6 Adecuación de los niveles de señal respecto a sistemas digitales.

II.7 Criterio de selección de actuadores.

II.8 Bibliografía.

II.1 DEFINICION GENERAL,

Para nuestro estudio, definiremos primero qué cosa es un elemento final de control. "Se entiende por elemento final de control aquel mecanismo capaz de alterar el valor de la variable manipulada, 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". (2)

De acuerdo a la definición enunciada podemos considerar que un actuador es un elemento final de control siendo a su vez una especie de transductor. Los actuadores convierten las señales de control desde una forma o nivel de energía o potencia 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 éstas 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; por otra parte 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 en un orificio, 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". (2)

En la mayoría de los casos, una válvula actuadora, puede ser denominada como un actuador lineal o de posición; ya que se obtiene una posición como salida siendo ésta proporcional a las de entrada. El movimiento del elemento de salida del actuador es generalmente del translacional (que se opone al rotacional) a menos que dicho movimiento sea transferido a un movimiento rotacional con el fin de operar algunas válvulas.

Por último los actuadores así como cualquier otro elemento final de control poseen características dinámicas de retar

do así como constantes de tiempo. Esto es, los dispositivos responden instantáneamente a cambios en las señales de control así como a 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 dañar grandemente 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.

II.2 CLASIFICACION GENERAL Y PRINCIPIOS DE OPERACION.

Los actuadores se clasifican en: hidráulicos, neumáticos, electrohidráulicos, electroneumáticos, mecánicos y eléctricos.

ACTUADORES HIDRAULICOS.

Los actuadores hidráulicos son básicamente dispositivos que poseen un cilindro (pistón), con el cual se modifican las condiciones de trabajo de alguna válvula u otros dispositivos de control. Estos dispositivos utilizan generalmente aceite o algún otro fluido hidráulico para su operación (3). Los actuadores hidráulicos requieren una fuente de alta presión del líquido de trabajo cercana a la válvula, esto se logra generalmente utilizando una bomba local. Los actuadores hidráulicos usualmente se construyen ya integrados a las válvulas. Ver figura II.2.1

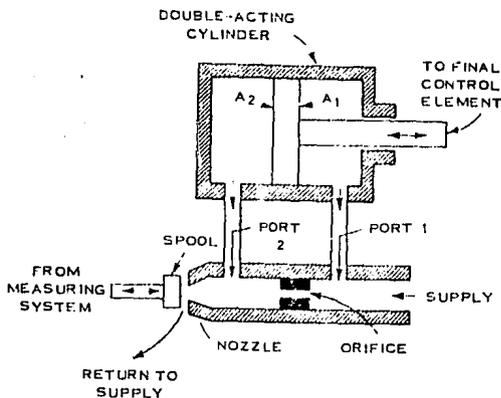


Fig. II.2.1 Actuador Hidráulico.

ACTUADORES NEUMATICOS.

El principio de operación de estos actuadores es similar al de los actuadores hidráulicos, solo que estos utilizan como fluido de trabajo aire comprimido. La señal recibida por el actuador es transmitida a la válvula directa o indirectamente a través de algún dispositivo auxiliar, como un posicionador de válvula o un amplificador neumático.

Los rangos de señal estandar utilizados por estos actuadores son de 3 a 15 psi y de 6 a 30 psi. (3)

Los actuadores neumáticos se clasifican en dos tipos:

Actuadores de diafragma:

Este actuador consiste básicamente de un diafragma flexible, que funciona como especie de obturador que abre o cierra la válvula según sea la señal de aire que se tenga. Fig. II.2.2

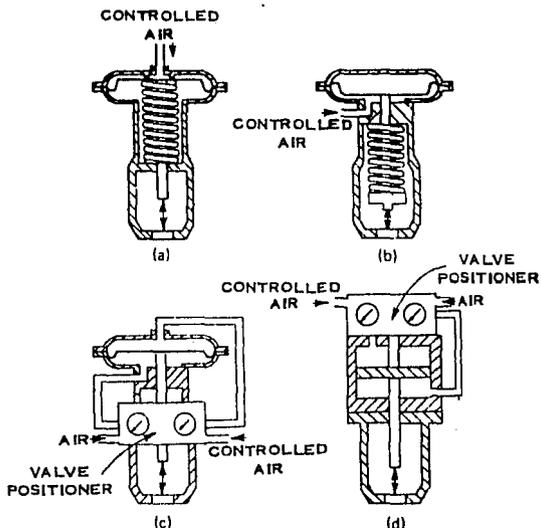


Fig. II.2.2 Actuadores neumáticos.
Actuadores de Pistón.

El funcionamiento de estos actuadores es similar a los de diafragma solo que en este caso un pistón está en lugar del diafragma. Con estos actuadores se pueden desarrollar presiones de más de $25,000 \text{ lb/pg}^2$, usando un suministro de alta presión.

ACTUADORES ELECTRICOS.

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 reóstatos, interruptores, quemadores, autotransformadores para la regulación de velocidad de motores, etc. (3)

ACTUADORES ELECTROHIDRAULICOS.

Este tipo de actuador tiene un motor eléctrico que impulsa una bomba, la cual proporciona una fuente continua de alta presión, que se usa para el posicionamiento de la válvula que se está controlando. (3) El funcionamiento de este actuador es igual al de un actuador hidráulico, con la diferencia de que los electrohídricos cuentan con su propia bomba, además de que su acción es iniciada por una señal eléctrica de un controlador.

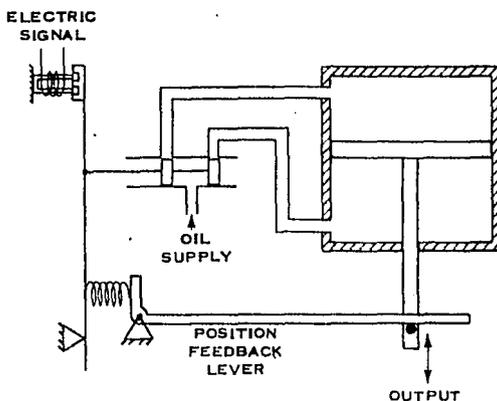


Fig. II.2.3 Actuadores electrohidráulicos.

ACTUADORES ELECTRONEUMATICOS.

Un actuador electroneumático es una combinación de un transductor electroneumático y un diafragma o pistón accionados por aire. (3)

El transductor recibe una señal eléctrica de control, generalmente en miliamperes, y convierte esta señal a una presión de salida. La presión de salida es directamente proporcional a la corriente eléctrica de entrada.

La ventaja que existe en el uso de estos actuadores, - esta en virtud de la utilización de los sistemas de control eléctrico, los cuales tienen inmejorables características con respecto al manejo de señales activadores, así como la seguridad que - da en los procesos el uso de actuadores neumáticos. Fig. II.2.4

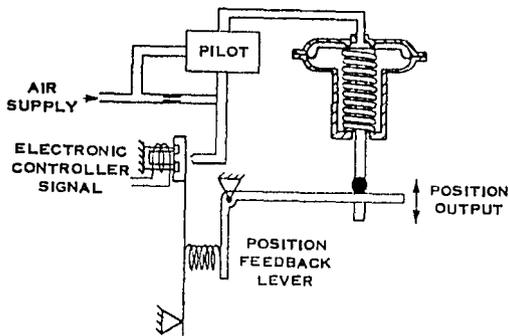


Fig. II.2.4 Actuadores electroneumáticos.

ACTUADORES MECANICOS.

Generalmente se les conoce con este nombre a todos los actuadores que tienen una operación manual, pero indudablemente todo actuador que utilice un medio mecánico en su operación podría considerarse dentro del grupo de los actuadores mecánicos.

II.3 VENTAJAS PRESENTES EN EL USO DE ACTUADORES ELECTRICOS.

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 solo -
operario para que el sistema entero corriese el riesgo de presen-
tar la condición de falla.

Por otra parte, "el empleo de actuadores eléctricos fa-
cilita 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 pa-
ra un buen manejo, aún en el caso de no instalar un controlador
programable del proceso.

No resulta complicado imaginar que se encuentren ins-
talados este tipo de actuadores en lugares de difícil acceso, -
ya sea por falta de espacio para maniobrar una persona, ya sea
por peligrosidad en dicho lugar, en razón de su altura, profun-
didad, temperatura, condiciones atmosféricas, etc." (4), sin to-
mar en cuenta que existen ciertas instalaciones, generalmente -
químicas, del petróleo y nucleares, que poseen áreas de diversos
grados de peligrosidad, que han dado lugar a un gran esfuerzo -
normativo en diversos organismos y requieren de manera indispen-
sable el empleo de actuadores eléctricos ya que se encuentran -
áreas de acceso totalmente prohibido al personal, otras de acce-
so restringido y otras de acceso solo en condiciones de avería.

"Las consideraciones económicas que inciden en la de-
cisión de emplear actuadores eléctricos, son las mismas que de-
ben tomarse en cuenta cuando se estudia el grado de automatiza-
ción rentable en cierto sistema. No debe confiarse demasiado -
en que los actuales costos de mano de obra en zonas semidesarro-
lladas permanecerán siempre constantes. Es sabido que el desa-
rrollo industrial implica un incremento en el nivel de vida, -
que se refleja en el correspondiente aumento de salarios. La -
tasa de utilización, los gastos de amortización y/o financiamien-
to de la planta y la evolución del costo de los salarios en el
futuro previsible, serán factores a considerar antes de tomar -
la decisión de emplear actuadores del tipo eléctrico". (4)

Por último un actuador eléctrico ha de ser concebido
para realizar las mismas funciones que efectuaría la mano del -
hombre y además, ofrecer diferentes opciones en cuanto al com-
portamiento del sistema, tales como mayor rapidez en su respues-
ta y una mejor precisión en su operación"

II.4 CLASIFICACION DE PRINCIPIOS DE OPERACION DE ACTUADORES ELECTRICOS.

Los actuadores eléctricos son por sus características - propias, los más adecuados, cuando se va a utilizar un sistema eléctrico de control, además de ser estos los más utilizados por su - versatilidad en control industrial, por lo cual se particularizará un poco más en cuanto a estos dispositivos.

Los actuadores eléctricos se clasifican según (3) en dos categorías:

- 1.- Actuadores de dos posiciones.
 - a) Solenoide (válvulas solenoides)
 - b) Relevador.
- 2.- Actuadores de varias posiciones:
 - c) motor eléctrico reversible.
 - d) reactor de núcleo saturable.
 - e) rectificador controlado de silicio (SCR)
 - f) motor eléctrico de velocidad variable.

PRINCIPIOS DE OPERACION.

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 armadura. (fig. II.4.1) 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 - removida la armadura regresa a la posición de reposo. (2).

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.

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

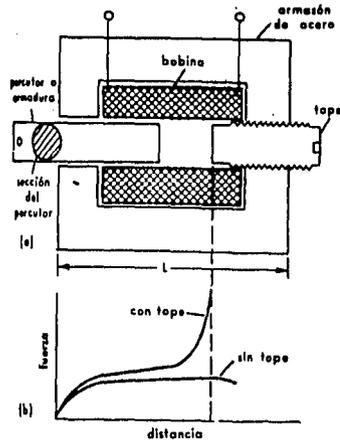


Fig. II.4.1 Solenoide.

RELEVADOR.

Un relevador eléctrico es un interruptor que se opera por medios electromagnéticos.

La construcción básica de un relevador es la siguiente: (ver fig. II.4.2)

Un circuito magnético M contiene una parte móvil llamada armadura (1), y una parte fija denominada yugo (6), ambos están constituidos con algún material ferromagnético. La mayoría de las veces la armadura se mantiene separada del yugo mediante un muelle o resorte (2), formándose un entre-hierro (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), el cual cierra o abre algún circuito. El principio de operación es el siguiente:

Cuando se aplica un voltaje al devanado, se produce una corriente en este, la cual produce un flujo magnético a través del circuito y en el 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 es suficiente para vencer la tensión del resorte de la armadura, y con esto cerrar completamente el circuito magnético, con lo que se cerrará el contactor aunado a la armadura. (1). En alguno de los extremos de circuito ya sea en la armadura o en el yugo se coloca una terminal de cobre

(5), para con ésta cerrar más eficientemente dicho circuito magnético.

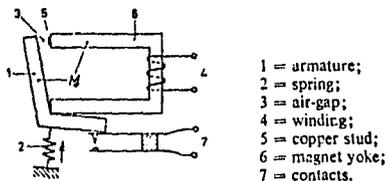


Fig. II.4.2 Relevador.

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.

Existe una variedad de maneras de transformar la rotación de un motor en una actuación lineal (2), por ejemplo se puede usar un engrane sinfin (ver fig. II.4.3), o utilizar una bomba hidráulica reversible para el caso de un actuador electrohidráulico, etc.

Mediante el empleo de un motor, así como sensores apropiados, más 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. Este tipo de motores se trata con más detalle en otros temas.

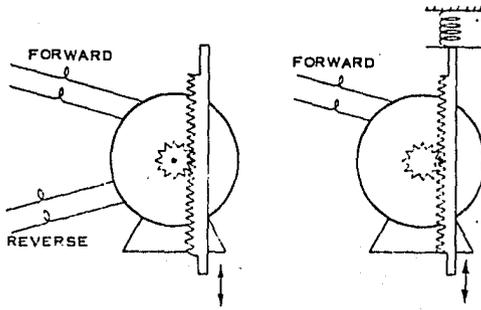


Fig. II.4.3 Motor electrico reversible.

MOTOR ELECTRICO 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 su velocidad, por lo que se le utiliza en numerosas aplicaciones en el ramo - industrial.

Generalmente los motores de velocidad variable son mo- tores de corriente directa, por lo que se hace 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, pero también es factible obtener la corrien- te directa rectificando la alternã de la línea de suministro de energía.

Es en la rectificación de corriente donde se tiene la aplicación de los reactores de núcleo saturable y de los rectifi- cadores controlados de silicio (SCR), siendo estos últimos los - más usados actualmente.

Los reactores de núcleo saturable se han empleado tam- bién anteriormente como moduladores de señal de baja frecuencia,

pero últimamente han caído en desuso.

RECTIFICADOR CONTROLADO DE SILICIO (SCR)

El rectificador controlado de silicio, conocido comunmente como tiristor es 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.

El nombre de tiristor, se deriva de la palabra inglesa Thyristor la cual se forma a partir de la palabra Thyratron y transistor, puesto que este componente presenta una combinación de las propiedades de estos últimos. (7)

Los tiristores están formados por 4 capas p y n alternadas. Su forma externa es similar a la del rectificador de silicio, pero este tiene tres terminales de conexión.

Estas últimas, por analogía con la válvula tiratrón, se designan mediante A (anodo), K (cátodo) y St (electrodo de control o compuerta), según la fig. II.4.4.

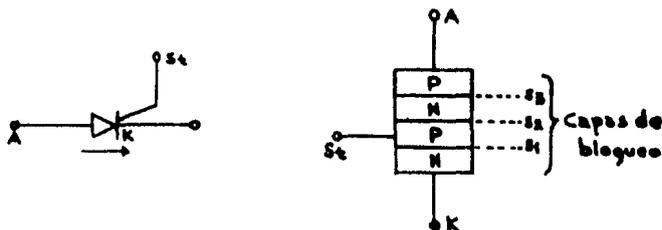


Fig. II.4.4 Rectificador controlado de silicio (SCR).

El tiristor se encuentra bloqueado, en estado de no - conducción, mientras la tensión entre ánodos y cátodo sea negati va, cuando dicha tensión toma valores positivos, el dispositivo continúa bloqueado. Cuando la tensión es positiva, si se hace - pasar un impulso positivo de corriente entre la compuerta y el - cátodo, el tiristor pasa al estado de conducción, circulando la corriente entre el ánodo y cátodo, llamada ésta corriente de servicios.

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 de servi- cio 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.

II.5 NIVELES DE SEÑAL DE ACTUADORES INDUSTRIALES.

Como ya se mencionó, los actuadores se pueden clasifi- car en dos categorías diferentes que son: de posición y de varias posiciones. La finalidad de este subtema es presentar las caracte- rísticas físicas de cuatro actuadores eléctricos comerciales, - siendo estos: Válvulas solenoides, relevadores, (pertenecientes - estos dos a la primera categoría) motores eléctricos reversibles y rectificadores controlados de silicio (estos dos últimos p^{er}te- necen a la segunda categoría mencionada).

A continuación se explicarán con más detalle cada uno de los cuatro casos propuestos.

II.5.1 VALVULAS SOLENOIDES.

Una válvula solenoide básicamente está constituida por la combinación de dos unidades funcionales que son: Un solenoide (electromagneto) con todo y su bobinado; y por otra parte, una - válvula que posee un orificio en el cual se encuentra un disco o un vástago para permitir o no la circulación de cierto flujo.

La válvula es abierta o cerrada por el movimiento del núcleo magnético, el cual penetra en el solenoide cuando se energiza el bobinado. (5)

Existen diferentes maneras de activar una válvula solenoide; sin embargo, las más comunes las podemos agrupar en la tabla siguiente:

- Válvulas de acción directa.
- Válvulas operadas internamente por un piloto.
- Válvulas operadas por un piloto externo.
- Válvulas operadas manualmente en condiciones de restablécimiento.

"En una acción directa, caso de las válvulas totalmente automáticas, el núcleo del solenoide se conecta mecánicamente al disco de la válvula, abriendo o cerrando directamente el orificio dependiendo si el solenoide se encuentra energizado o no. La operación es independiente de la presión de la línea o de la rapidez del flujo, pudiéndose operar desde cero libras por pulgada cuadrada, hasta su valor nominal máximo". (5) Ver fig. II.5.1.1

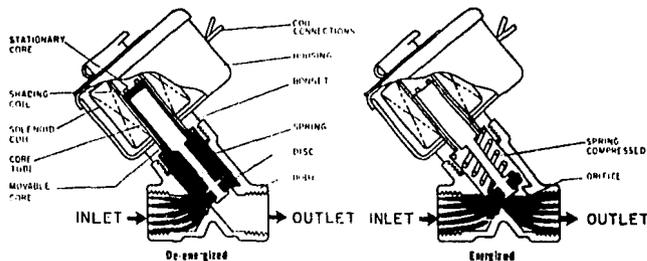


Fig. II.5.1.1 Válvula solenoide.

Por otra parte, *las válvulas operadas por un piloto interno cuentan con un sensor o piloto y un orificio de mues-treo, emplenado la presión del fluido para su operación. Cuando el solenoide se encuentra energizado se abre el orificio del piloto y libera presión desde lo alto del pistón de la válvula hacia la salida de ésta. Esto implica una diferencia de presión que causa que la presión de la línea mueva el pistón de la entrada principal y por lo tanto se abre la válvula. Cuando se desenergiza el solenoide la acción inversa tiene lugar y es cerrada la válvula. (5) Ver figura II.5.1.2

Las válvulas operadas por un piloto externo están "e-quipadas con un piloto solenoide de tres caminos, el cual, en -forma alterna aplica o retira la presión de operación a un pis-tón para abrir o cerrar la válvula principal.

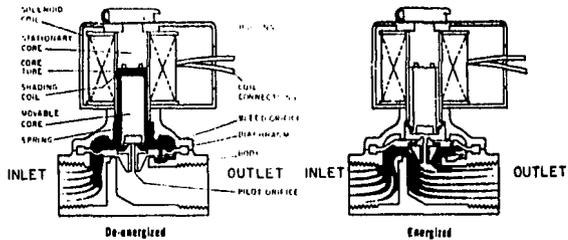


Fig. II.5.1.2 Válvula solenoide.

Por último las válvulas operadas manualmente en condi-ciones de restablecimiento deben retornar a su posición original cuando el solenoide se encuentra energizado o desenergizado, de-pendiendo de la construcción. Ver fig. II.5.1.3

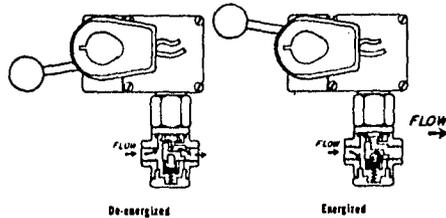


Fig. II.5.1.3 Valvula solenoide.

Las válvulas solenoides no solo se clasifican en cuanto a su principio de operación, sino también en cuanto al número de entradas y salidas que pueden manejar, esto da lugar a la tabla siguiente:

- Válvulas de dos caminos.
- Válvulas de tres caminos.
- Válvulas de cuatro caminos.

"Las válvulas de dos caminos (encendido-apagado) poseen una entrada y una salida para la tubería que conduce el flujo. Pueden fabricarse del tipo normalmente cerrada, que se encuentran en este estado cuando se desenergiza el solenoide, y abren cuando se energiza este; así como del tipo normalmente abierta que abren cuando se desenergiza el solenoide" (5) Ver - figura II.5.1.4

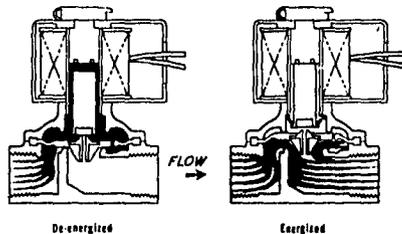


Fig. II.5.1.4 Valvula solenoide.

Por otra parte, "las válvulas solenoides de tres caminos cuentan con conexión para tres tubos, pero solo dos orificios (uno está siempre abierto mientras que el otro siempre está cerrado). Este tipo de válvulas se emplea comúnmente para aplicar en forma alternada a una válvula de diafragma o a un cilindro de simple acción. También se pueden emplear para seleccionar o diversificar el flujo.

"Las válvulas de cuatro caminos se emplean generalmente para operar cilindros de doble acción. Este tipo de válvulas cuentan con cuatro conexiones para tubería, siendo éstas: una para presión, dos para low cilindros y una sin presión. En una posición de la válvula, se aplica presión a un cilindro mientras que el otro se encuentra sin presión; en otra posición de la válvula se invierten las conexiones" (5).

Debido a la complejidad que puede representar el estudio de todas las válvulas solenoides, nos limitaremos al análisis de las del tipo de dos caminos.

En este tipo de válvulas, se puede seleccionar entre - las construcciones normalmente abierta y normalmente cerrada, - de acuerdo a las necesidades a cubrir.

Se emplean diferentes tipos de materiales para el cuerpo de la válvula, tales como bronce forjado, plástico, acero inoxidable y aluminio. Este tipo de válvulas pueden ser de propósito general, de acuerdo a la norma NEMA 1 (NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURES ASSOCIATION), pudiendo tener el solenoide con una combinación de carcasas ya sean a prueba de explosión o bien a prueba de goteo, según las normas NEMA 7C, 7D y 4.

"Es conveniente que este tipo de válvulas se adecúen a las normas de los voltajes industriales de operación, que son:" (5)

A - C		D - C	
Promedio del voltaje nominal.	Rango de operación normal.	Promedio del voltaje nominal.	Rango de operación normal.
24	20-24	6	5.1 - 6.3
120	102-120	12	10.2 -12.6
240	204-240	24	20-25
480	408-480	120	102-126
		240	204-252

Ejemplos de válvulas que están diseñadas de acuerdo a estos requerimientos, son las válvulas solenoides de dos caminos "Cuerpo de plástico" y "Miniatura" de la compañía ASCO (Automatic Switch Corporation) las cuales presentan el consumo de potencia siguiente:

Tipo de aislamiento	Promedio de watts y consumo de potencia			
	D-C Watts	Watts	A-C Volts-amperes (sostenidos)	A-C Volts-amperes (impulso inicial)
A	9.7	6	15.6	24.6
B	6.4	6.5	9.2	17.3

Los volts-amperes de impulso inicial se refieren al mayor valor momentáneo inicial de la corriente que ocurre en el instante que un solenoide de A-C es energizado.

Los volts-amperes sostenidos son el promedio de operación continua después de que ocurre el impulso inicial.

II.5.2 RELEVADORES

Como ya se mencionó, "un relevador es un aparato 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 más generales, un relevador es un interruptor que permite controlar un circuito sin manipular los contactos directos de ese circuito" (8)

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 consistente en una planchuela de hierro que puede ser atraída por el núcleo cuando circula corriente por la bobina, y uno o más juegos de contactos que se mueven uno con respecto del -

otro cuando circula corriente por la bobina" (8) Ver figura II. 5.2.1

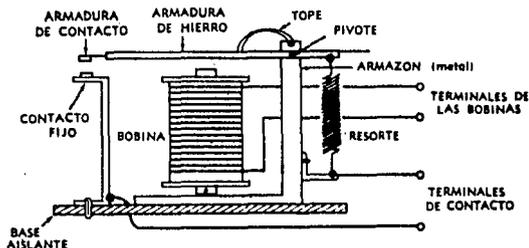


Fig. II.5.2.1 Relevador.

Sin embargo debido al avance en la técnica se han desarrollado diferentes tipos de relevadores; a continuación se enlistan los más comunes:

Propósito general.- "Su diseño, construcción, características de operación y rendimientos se adaptan a un gran número de casos" (9).

Autoajustado (Latch-in) "Los contactos permanecen en cualquiera de las dos posiciones, energizado o desenergizado, hasta que es aplicada una señal de restablecimiento ya sea manual o eléctrica" (9).

Polar.- "La operación depende de la polaridad de la corriente energizante, un magneto permanente provee el magnetismo de polarización" (9).

Diferencial.- Este tipo de relevador "funciona cuando el voltaje, corriente o diferencia de potencia entre sus múltiples devanados alcanza un valor predeterminado" (9).

Telefónico.- Está constituido por relevador de armadura con una espira terminal colocada en sus extremos y unas escobillas montadas en paralelo al eje mayor del devanado del relevador.

Pasos.- Los contactos se desplazan hacia posiciones subsecuentes después de que las espiras han sido ener-

gizadas mediante señales pulsantes. Los desplazamientos pueden ser en cualquier dirección.

Entrelazado.- En este caso, el devanado, la armadura y los contactos se arreglan de manera tal que el movimiento de una armadura es dependiente de la posición de otro componente.

Secuencial.- "Mediante este arreglo dos o más juegos de con tactos son operados de acuerdo a una secuencia prede- terminada" (9).

Retardador de tiempo.- "Los relevadores del tipo armadura em plean una hoja de material conductor en el núcleo para obtener un retardo" (9)

Marginal.- Su operación se basa en el valor predeterminado de la corriente o voltaje existente en el devanado.

En forma reciente 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 pro- veniente de algún tipo de controlador primario. Su funcionamien- to 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 fuen te produce un cambio en la posición del relevador para restaurar el balance y regresa el proceso bajo control a su punto de cali- bración." (11)

Es conveniente hacer notar que entre los relevadores - industriales se presentan comúnmente las características eléctri- cas siguientes:

- señal de entrada : 4 a 16 (mA_{dc})
- señal de cero entrada : variable entre 2 y 16 (mA_{dc})
- Impedancia de entrada : 250 (Ohms) (impedancia normaliza- da de entrada según - I.S.A.)
- consumo de potencia : 3.5 VA a 120 o 240 Volts y 60 Hz.
- regulación de la línea : 120 o 240 Vac con una variación de $\pm 10\%$

- límites de temperatura ambiente: de -25°C a $+70^{\circ}\text{C}$

Ejemplos de relevadores que presentan características semejantes a las antes mencionadas son los modelos 658 y 659 de la compañía Barber Colman así como algunos dispositivos de la compañía Weastinghouse Electric. Co.

II.5.3 MOTORES DE PASOS

Como ya se expuso anteriormente, un motor de pasos es un dispositivo electromecánico, el cual al ser energizado eléctricamente su eje se mueve una fracción angular, denominada paso (1). Con esta clase de motores se pueden posicionar elementos de control muy eficientemente y con gran precisión.

Los pasos angulares de los motores 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 operación de un motor de pasos.

Un motor de pasos típico esta constituido en su interior por 3 polos que forman un circuito magnético, junto con el rotor. Los 3 polos del estator tienen sus extremos dentados, y el número de dientes en cada polo varia según los pasos que se tengan (fig.II.5.3.1.). El rotor también se encuentra dentado y sus dientes varían por las razones antes 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 cua-

drado del mismo flujo, la cual hace que la distancia del entrehierro se haga más pequeña, y así el flujo atravesará más fácilmente dicho entrehierro.

En el motor 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, ésta hace que un diente del rotor se alíne con el siguiente diente del polo del estator. Por cada diente que se alíne, al presentarse un pulso de excitación se tiene un avance de un paso en la fecha del motor.

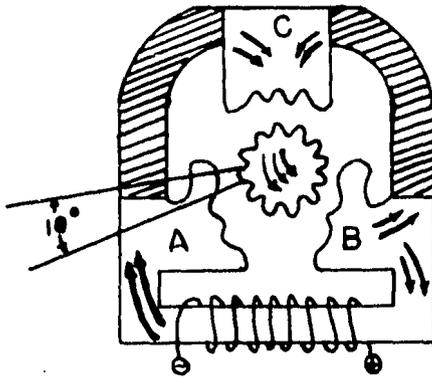


Fig. II.5.3.1 Esquema de un motor de pasos.

Los tipos básicos de diseño de motores de pasos son:

- a) rueda dentada operada por solenoide.
- b) magnetos permanentes auxiliares.
- c) reluctancia variable.

Variaciones de estos tipos básicos pueden ser combinados con engranes o amplificadores hidráulicos para constituir motores con altos pares de salida. (1)

Los magnetos permanentes funcionan como polos auxiliares que hacen que el flujo uniformise aún más, además de obtener con éstos, mayores pares de salida. Para los motores con reluctancia variable, ésta ofrece ventajas similares a los magnetos permanentes.

En los motores con reluctancia variable, esta se varía mediante el uso de varios rotores, además los dientes se alinean por medio de campos eléctricos, con lo cual, cuando el motor es desenergizado no aparecen pares residuales. (1)

En la figura II.5.3.2 se puede observar un motor de reluctancia variable, así como varias características de éste.

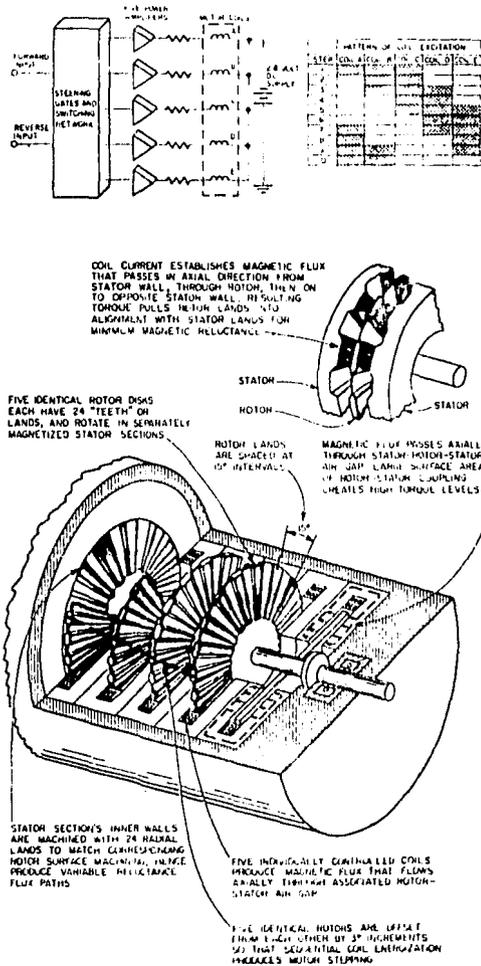


Fig. II.5.3.2 Motor de reluctancia variable.

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

En la tabla II.5.3.1 se proporcionan características de algunos motores comerciales. Se puede observar que las señales de excitación de estos motores son muy variadas y no se tiene ninguna estandarización.

II.5.4 TIRISTORES COMERCIALES

Como se dijo anteriormente un tiristor es un dispositivo semiconductor de potencia el cual permite la circulación de corriente en un solo sentido (1), por lo que de una fuente de corriente alterna solo admite la corriente de medio ciclo.

Los tiristores 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.

En la tabla II.5.4.1 se tienen características de varios tiristores fabricados por RCA (10), en donde se observa que las características para cada tiristor varían considerablemente, por lo que al acondicionar la señal de salida de un controlador para que energice un tiristor, se tiene que hacer esto para cada tiristor en particular.

II.6 ADECUACION DE LOS NIVELES DE SEÑAL RESPECTO A SISTEMAS DIGITALES.

Mediante el estudio efectuado para los actuadores industriales 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 patrón se conoce como bit (dígito binario)

presentando únicamente dos posibles valores eléctricos que son: 0 y +5 volts de corriente directa. Este tipo de patrones requiere 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 o magnéticos o ambos.

A continuación se presentan por último algunos ejemplos de circuitos electrónicos capaces de efectuar la fase final de adecuación de las señales de los diferentes actuadores vistos. Se considera siempre que las señales digitales ya se encuentran en forma analógica.

VALVULA SOLENOIDE.

Se mencionó que este tipo de actuadores requieren para su control, una señal de voltaje directo que varíe entre 0 y +6 V (considerando una válvula de dos caminos). Por lo tanto, la señal del controlador varía entre 0 y +5 V requiere ser amplificada con una ganancia $G+1.2$.- La figura II.6.1 muestra un circuito capaz de efectuar esta acción.

Circuito para valvula solenoide.

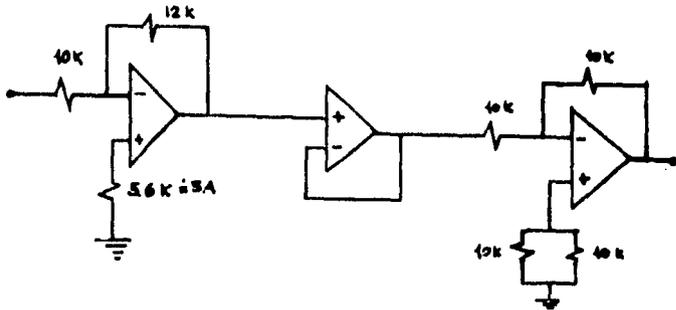
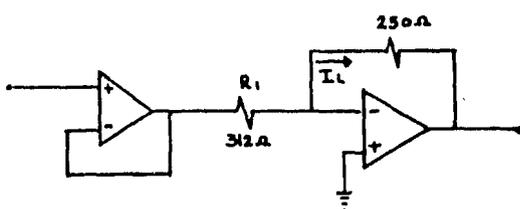


Fig. II.6.1 Circuito de adecuación.

RELEVADOR:

De entre los diferentes relevadores existentes se seleccionaron los más pequeños que requerían una corriente directa que varía entre 4 y 16 mA. Debido a que lo que se maneja son señales de voltaje con valores entre 0 y 75 volts, se requiere convertirlas a corrientes. En la figura II.6.2 se puede apreciar un circuito que realiza la adecuación de las señales, considerando que la impedancia de carga es aquella que presenta el relevador a su entrada.

Circuito para relevador.



$$I = 16 \text{ mA}$$

$$\text{Si } I_L = \frac{e_i}{R_1}$$

$$\therefore 16 \text{ mA} = \frac{15}{R_1}$$

$$R_1 = \frac{5}{16}$$

Fig. II.6.2 Circuito de adecuación.

MOTOR DE PASOS.

Como se mencionó, en este tipo de actuadores no existe una normalización total, sin embargo estudiaremos un caso en el cual se requiere que las señales de entrada sean de 24 volts de directa por lo tanto se necesita amplificar las señales que están entre 0 y 5 volts a dicho valor. En la figura II.6.3 se propone un circuito capaz de efectuar esta tarea.

Circuito para motor de pasos

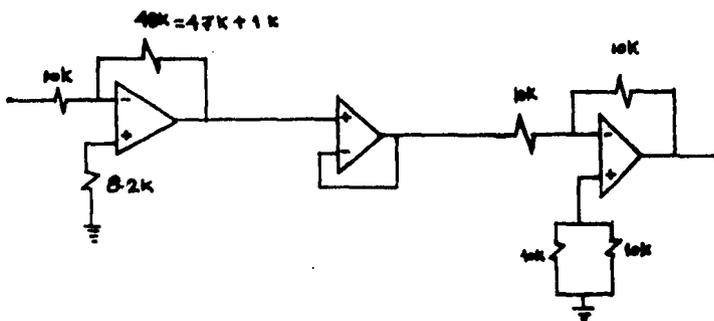


Fig. II.6.3 Circuito de adecuación.

RECTIFICADOR CONTROLADO DE SILICIO (SCR)

Por último, se mencionó que este tipo de actuadores tampoco cuentan con una normalización total por lo cual nos limitaremos a considerar el caso en el cual se requiere una señal de voltaje igual a 1 volt, por lo tanto en éste caso se debe atenuar la salida del convertidor D/A (que es de 0 a +5V), para lograr tener el valor de voltaje pedido. En la figura II.6.4 se muestra un circuito capaz de efectuar esta tarea.

Circuito para SCR.

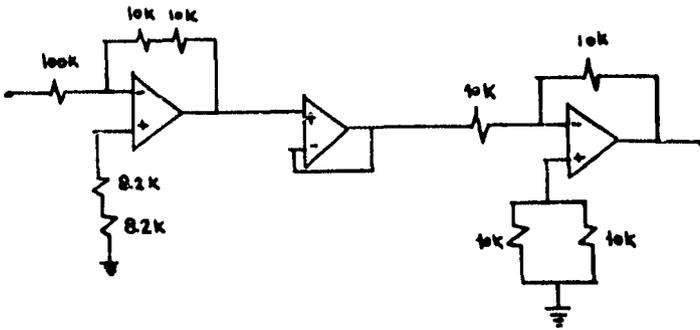


Fig. II.6.4 Circuito de adecuación.

II.7 CRITERIO DE SELECCION DE ACTUADORES.

Para escoger 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.

En los siguientes párrafos se pone a disposición un criterio que se podría seguir al seleccionar un actuador. Este criterio se basa al igual que el dado para transductores en el capítulo anterior, en tener presente ciertas cuestiones importantes

en la selección de estos componentes.

1.- ¿Dónde se requiere el actuador?

- a) ¿En qué proceso se va a utilizar el actuador?
- b) ¿Qué es lo que se va a controlar?
- c) ¿Cuáles son las características de lo que se controlará?
- d) ¿Qué espacio se tiene disponible para el actuador?
- e) ¿A qué distancia estará el actuador del sistema de control?
- f) ¿Cuáles son las condiciones ambientales en la que se tendrá al 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 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 qué 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 cumplirá 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 un momento algún 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) ¿Qué es lo que se va a obtener con el uso de este - tipo de dispositivos, a corto, mediano y largo plazo?

TABLA II.5.4.1

Cornete de Servicio It (rms) (A)	0.8	4	4	4	5*	7	8	8	8	
(A)	6	35	20	25	60*	100	100	100	80	
Voltaje de VDRM (V) pico entre ánodo y cátodo	30	SK3950	SK6752				SK3685			
	50		SK6753				SK3685			
	60			SK3953 *						
	100	SK3638	SK6754			SK3686				
	200	SK3627	SK3570	SK3597	SK3954 *	SK3850	SK3577	SK3572	SK3942	SK3634
	400	SK3951	SK3557	SK3598	SK3955 *		SK3578	SK3687	SK3943	SK3635
	600	SK3952	SK3571		SK3956	SK3851	SK3503	SK3573	SK3944	SK3636
Corriente de disparo de IGT compuerta (mA)	0.8	0.2	0.2	0.2	15 *	15	25	20	30	
Voltaje de dispa- ro de compuerta Vgt (v)	0.8	0.8	0.8	1	2 *	1.5	1.5	1.5	1.5	
Potencia de com- puerta Pgn (W)	0.1	0.5	0.5	0.5	13	40	16	5	5	
Velocidad		8	8	10	200	200	100	50	500	
tiempo de conmutación tq (us)	30	100	100		50	50	35	15	15	

* Tiristores considerados para el tema II.6

TABLA II.5.3.1

CARACTERISTICAS DE MOTORES DE PASOS

Velocidad normal de operación con carga (PPS*)	Máxima velocidad sin carga (PPS)	Par a la velocidad de operación. (OZ-in)	Par inercial en el rotor (gr-cm ²)	Voltaje DC (volts)	ENTRADA Corriente/Potencia una fase watts		Pasos por revolución.
--	----------------------------------	--	--	--------------------	--	--	-----------------------

MOTORES CON SOLENOIDE

25	160			12-28	1.0A	84 a 210	18
600	1000	1.4 a 6.1		6-220		6	10 o 12
400	750	3.0 a 15.7		6-220		9	10 o 12
300	600	6.0 a 24.2		6-220		11	10 o 12

MOTORES CON RELUCTANCIA VARIABLE AUXILIAR

10	725	2.4	1.0	28	6.0 A	15	24
400	5 000	25	180	5.4	1.5 A		200/72
300	660	2.7	3.11	28	.35 mA	20	24
2000	8 000	480		28	10.0 A	30	240
2000	10 000	20		28	3.0 A	10	160
2000	16 000		18.6		6.0 A	36	4
2000	6 000	640		28	20 A	60	240

MOTORES CON MAGNETOS PERMANENTES AUXILIARES

10	130	0.1	0.15	28	90 mA	2.5	4
20	80	0.2	3.7	27	150 mA	4	24
40	320	0.47	2.6	24	150 mA	3	48
100	260	1.9	4.93	28	47 mA	13	8
120	145	0.6	0.77	28	280 mA	7.8	3
175	200	5.0	7.05	28	1.25 A	35	4
600		100	1520	4.5	3.5 mA		200
45		35	877	3.0	4.0 mA		500
45		1200	38,020	12	3.8 mA		200

MOTORES CON EQUIPOS AUXILIARES ADICIONALES (ELECTROHIDRAULICOS)

5000	5000	10 000		2	5.4	10.8	200/500
4000	4000	8 000		28	3	10	200/250
4000	8000	2 880		28	30	10	200/250

II.8 B I B L I O G R A F I A .

- (1) "Process Instruments and Control Handbook"
Douglas M. Considine. Ed. Mc.Graw-Hill Book Co.
2a. Edición 1974
- (2) "Chemical Engineering Handbook"
Robert H. Perry y Cecil H. Chilton.
Ed. Mc. Graw-Hill Book Co. 5a. Edición, 1973
- (3) "Encyclopedia of Instrumentation and Control"
Douglas M. Considine. E. Mc.Graw-Hill Book Co.
2a. Edición 1971
- (4) "Actuadores Eléctricos para Valvulas Todo-Nada"
Ed. Equipos y Proyectos Industriales S.A.
División Instrumentación. 1a. Edición. 1976
- (5) "Solenoid Valves, Air Operated Valves and Air Controls"
Catalogo 3A Editado por ASCO Red-Hat. Automatic Switch
Co. Edición 1979
- (6) "Handbook of Precision Engineering" Volumen 7
"Electrical design applications"
A. Davidson. Ed. Mc. Graw-Hill Book Company.
3a. Edición 1972
- (7) "Electrónica Industrial" Robert Arnold y Hans Brandt.
Ed. Trillas. 1a. Edición 1982
- (8) "Relays. Principios básicos y aplicaciones"
Harvey Pollack. Ed. Glem, S.A. 2a. Edición 1969
- (9) "Electronics Engineers Handbook" Donald D. Fink.
Ed. Mc. Graw Hill Book Co. 1a. Edición 1975
- (10) "Guía de Reposición de componentes" Editorial RCA Co.
2a. Edición 1981
- (11) "Controls for Industrial Process" División de instrumentos
industriales. Ed. Barber-Colman Company.
Edición 1978

CAPITULO III

SISTEMAS DE CONTROL

- III.1 Definición general.
- III.2 Clasificación de los diferentes sistemas de control.
- III.3 Tipos de sistemas de control electrónico.
- III.4 Clasificación y características de los sistemas analógicos.
- III.5 Clasificación y características de sistemas digitales.
- III.6 Niveles jerárquicos existentes en los sistemas reguladores de control.
- III.7 Especificaciones de sistemas de control.
- III.8 Características básicas de controladores comerciales.
- III.9 Bibliografía.

III.1 DEFINICION GENERAL.

Dentro de los procesos industriales existen variables cuya magnitud debe mantenerse cercana a un valor previamente de terminado, 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 estos, se debe actuar sobre el proceso hasta minimizar al máximo posible dicha diferencia. La función de control se puede implementar en formas muy variadas, tales - como acciones mecánicas, neumáticas, hidráulicas, eléctricas, - electrónicas ya sean analógicas o digitales.

En general los sistemas de control se pueden clasificar en dos tipos siendo el primero de malla abierta y el segundo de malla cerrada. Entendiéndose por "sistema de control de malla abierta aquel en el cual la información relativa a la variable controlada, no es empleada para ajustar alguna de las en tradas para 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 empleando el - resultado de dicha medición para manipular alguna de las variables del proceso" (1)

Por otra parte, en los sistemas de control de malla - cerrada, la información que se logra acerca de la variable controlada se realimenta hacia otras, a la entrada del sistema, - con la finalidad de ejecutar la acción de control. Sin embargo, "si pueden medirse las fuentes de variación de nuestras condicio nes, 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"." (2)

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 reali mentación hacia atrás.

Dentro de los sistemas industriales de control, se pueden encontrar una gran variedad de dispositivos que van desde los controladores del tipo ENCENDIDO - APAGADO (ON-OFF), que son los más simples de todos ya que, la salida está encendida cuando la señal medida está abajo del punto de calibración, o bien se mantiene apagada cuando se encuentra arriba de dicho punto; llegando se hasta complicadas redes de computadoras altamente especializadas en diferentes aspectos del control.

No obstante que sean empleadas diferentes estrategias de control, las cuales revisan diferentes características del sistema; 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 las 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.

III.2 CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS DE CONTROL

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 nos limitaremos en clasificar dichos sistemas de acuerdo al medio que utilizan para el control.

Los sistemas de control se clasifican de acuerdo con el medio que emplean en su operación en:

Neumáticos, Hidráulicos, Eléctricos, Electrónicos y Mecánicos.

A continuación se da una breve explicación de las características de los sistemas arriba mencionados haciendo mayor énfasis en los sistemas eléctricos y electrónicos.

Los sistemas mecánicos de control fueron los primeros en desarrollarse, por lo que son los de menor precisión y eficiencia, debido esto a que su operación es puramente mecánica, y se tienen pérdidas por rozamiento, así como otras deficiencias inherentes a estos sistemas. Un ejemplo clásico de un sistema de control mecánico es el conocido regulador de velocidad de Watt, en el cual en base a la fuerza centrífuga se controla la velocidad.

En los sistemas hidráulicos se utiliza como fuente de potencia la presión hidráulica de un líquido, generalmente petróleo o un líquido resistente al fuego, y emplean además para su operación actuadores hidráulicos usualmente. Los controladores hidráulicos poseen varias ventajas con respecto a otros sistemas, como lo son la alta potencia que pueden desarrollar junto con un tiempo de respuesta bastante admisible, y sin olvidar la prolongada vida útil que tienen, debido ésta a la naturaleza de los componentes que utilizan dichos sistemas y a las propiedades lubricantes del fluido empleado. (1)

Un controlador neumático es similar al hidráulico, con la diferencia que el fluido utilizado en este caso es aire comprimido. El propósito básico de un controlador neumático es suministrar aire presurizado para accionar un actuador, en respuesta a una señal de control.

Una ventaja significativa de estos controladores para con los hidráulicos es la disponibilidad del fluido de trabajo, ya que siempre es más fácil contar con aire comprimido que con alguna fuente hidráulica a presión. El uso de sistemas neumáticos ha sido muy generalizado debido a sus características y confiabilidad, sin embargo el empleo de los sistemas hidráulicos y mecánicos no ha disminuído totalmente, ya que en ciertas aplicaciones es más costeable y conveniente usar estos sistemas.

Con respecto a los sistemas de control eléctricos y electrónicos, se tiene que estos presentan las características que más se desean para el control de procesos, algunas de las cuales son su alta velocidad de respuesta, gran precisión y sensibilidad, y la disponibilidad de la fuente de suministro de energía necesaria. Los controladores eléctricos y electrónicos son muy versáti

les y en la actualidad muy económicos debido al desarrollo que han tenido en los últimos años, por lo cual su aplicación se ha extendido. (6)

Los controladores de esta clase manejan señales de entrada eléctrica, las que provienen de elementos sensores, de donde se acondicionan para que estén de acuerdo a las características del controlador. Las salidas de controlador también son eléctricas, las cuales excitarán actuadores eléctricos, electro-neumáticos o electrohidráulicos.

Los controladores eléctricos y electrónicos se pueden clasificar en base a dos aspectos: (6)

- 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 (PI)
 - f) proporcional-derivativo-integral (PID)

Enseguida se expondrán algunas ideas acerca de los controladores mencionados en el primer aspecto de la clasificación. Con respecto a los modos de control se hablará más adelante.

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 su 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. Típicamente estos controles son aparatos muy simples, muy empleados en industrias químicas para el control de temperatura, presión, nivel, etc. (1) Un ejemplo de controlador de este tipo es un control de temperatura, que basa su operación en una unión bimetálica.

CONTROLADOR ELECTRONICO.

El gran desarrollo que han tenido los sistemas electrónicos digitales en las últimas décadas los ha llevado a ser los sistemas de mayor uso en la actualidad.

Con los sistemas digitales se pueden implementar algoritmos de control muy sofisticados, además de los utilizados por los clásicos controles analógicos, y por los sistemas neumáticos e hidráulicos.

III.3 TIPOS DE SISTEMAS DE CONTROL ELECTRONICO.

En época reciente los sistemas electrónicos de control han tenido un gran auge, ya que sobre otros tipos de sistemas - presentan ventajas tales como mayor disponibilidad, servicio de mantenimiento fácil, menor tamaño físico, costos de instalación menores etc. "Otra ventaja que presentan los sistemas electrónicos en especial sobre los sistemas neumáticos, es el reemplazo de ductos de transmisión por cables eléctricos lo cual reduce substancialmente o bien elimina por completo las pérdidas - neumáticas que a menudo degradan el rendimiento de las mallas de control". (1)

Por otra parte los controles electrónicos pueden ser - sintonizados con mayor precisión que otros sistemas, además los puntos de calibración muestran corrimientos menores, sin tomar en consideración que se requiere un número menor de partes móviles respecto a otros sistemas tales como los neumáticos y los hidráulicos.

En general, los sistemas electrónicos pueden ser agrupados en dos grandes categorías: controles continuos y controles discretos. "En la mayoría de los casos, los controles continuos se han 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 las industrias de manufactura". (3) Entendemos 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" (4), lo cual nos 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 discreta en el tiempo; lo cual nos representa un proceso dinámico en el que la información se encuentra presente como una secuencia de datos discretos, para ser operada y general otra secuencia numérica de datos como salida". (4) A este tipo de sistemas se les conoce generalmente como sistemas digitales de control.

Los sistemas de control continuo o analógicos pueden realizar funciones tales como el control de flujo, temperatura, nivel, presión, composición, 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 P.I.D. (proporcional-Integral-Derivativo) que será explicada más adelante con detalle.

Por otra parte, los controles discretos o digitales se emplean ampliamente en el control de procesos industriales. "Una de las primeras funciones que realizaron 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". (2)

Posteriormente, los sistemas de control digital 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 analógicos que son los que realizan la primera intervención de control dentro del proceso.

Por último, el uso más poderoso que presentan este tipo de sistemas es el control digital directo (D.D.C.) 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 analógicas de control; una vez

hecho esto, 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 sistemas D.D.C. sobre los controles analógicos reside en la flexibilidad que existe para implementar algoritmos de control más sofisticados que simplemente el P.I.D. También un sintonizado adaptivo del sistema puede mejorar la respuesta dinámica del mismo para amoldarse a condiciones cambiantes. Una desventaja importante en los sistemas D.D.C. es en condiciones de falla ya que cuando ésta se presenta todas las mallas de control se ven afectadas, al contrario de los sistemas analógicos donde una falla no afecta a todas las mallas del proceso. Por esta razón los sistemas de control digital generalmente cuentan con un respaldo analógico para los puntos más críticos del proceso bajo control.

Los sistemas de control ya sean analógicos o bien, digitales como ya se mencionó pueden resolver ecuaciones algebraicas o bien diferenciales, correspondientes al algoritmo de control. Por lo tanto la selección de alguno de estos dos tipos está regida por la cantidad del trabajo de controlador y el costo de efectuar dicha labor". En la figura III.3.1 se muestran las curvas características básicas de las relaciones costo--trabajo de los sistemas de control analógicos y digitales.

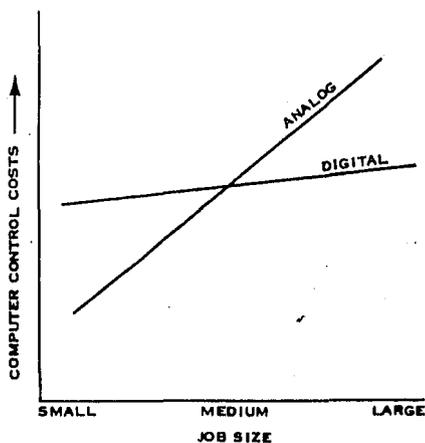


Fig. III.3.1 Curvas costo-trabajo de sistemas.

Como se puede apreciar, los costos de un sistema de control analógico dependen grandemente de la cantidad de trabajo a realizar; empezando con una inversión inicial baja para trabajos pequeños; por otra parte los sistemas de control digital tienen una inversión inicial mayor, sin embargo, presentan una menor dependencia del trabajo a efectuar. Cuando la cantidad de trabajo a realizar no da una idea clara para poder seleccionar el equipo adecuado existen otros factores importantes para normar un criterio" (1) Entre estos factores se encuentran:

<u>Ventajas de los sistemas analógicos.</u>	<u>Ventajas de los sistemas digitales.</u>
- Menos costo para sistemas pequeños.	- Menores costos para sistemas grandes.
- Mayor flexibilidad en sistemas pequeños.	- Mayor flexibilidad en sistemas grandes.
- Se emplean técnicas más familiares para el personal de planta.	- Se emplean técnicas más familiares para ingenieros de proceso.
- Procedimientos más familiares para la solución de problemas.	- Mayor precisión computacional disponible.
- Menor complejidad en la conexión de instrumental analógico.	- Menores costos de expansión.

III.4 CLASIFICACION Y CARACTERISTICAS DE SISTEMAS ANALOGICOS.

El uso de los sistemas de control de tipo continuo o analógico en el pasado fué muy intenso, ya que este tipo de sistemas fueron los primeros en desarrollarse. En la actualidad ha bajado la aplicación de dichos sistemas en virtud del advenimiento de los sistemas digitales, que tienen cualidades muy por encima de los continuos.

Se ha considerado como columna vertebral de los sistemas analógicos al sistema de control PID (proporcional-integral-derivativo), por lo que enseguida se da una explicación de los sistemas P. PI. PD que lo constituyen.

Modo de control proporcional (P).

Un controlador proporcional suministra una señal de salida que es proporcional a la diferencia entre la señal de referencia (set point) y la variable que se está controlando. (1) Este tipo de control entrega una acción proporcional promedio que ejecuta una corrección exacta de la entrada del proceso para varias condiciones de carga.

Esta forma de control produce esencialmente el control no cíclico (straight line) de muchos procesos que son demasiado complejos para solo usar un simple controlador de dos posiciones (on-off).

La acción proporcional suministra una continua relación lineal entre la desviación de la variable medida y la señal de referencia (7), ésta acción es expresada por:

$$m = Kc e + M$$

donde

m = variable manipulada

Kc= cte de proporcionalidad (ganancia)

e = desviación

M = Constante

La cte M se adiciona para que exista una respuesta cuando el error es nulo.

Modo proporcional - derivativo (PD)

En esta acción de control la salida es proporcional a la combinación lineal de la entrada con la velocidad de cambio de la misma (derivada de la señal de error). (7)

La relación que modela este tipo de control es la siguiente:

$$m = Kc e + Kc Td e'$$

$$e' = \frac{de}{dt} = \text{derivada de la desviación}$$

Td= tiempo de derivación

La acción derivativa corrige la señal de salida en un valor proporcional al cambio de la variable controlada.

Modo proporcional-integral (PI).

En esta forma de control la salida del controlador es proporcional a la combinación lineal de la entrada con la integral de la desviación de la misma.

En el control integral el cambio de la variable manipulada es proporcional a la desviación que se presenta en dicha variable, esta acción se expresa con la siguiente ecuación:

$$m = \frac{1}{T_i} \text{edt} + M$$

en donde:

T_i = tiempo de integración

M = cTe de integración.

El tiempo T_i es el tiempo en el cual está cambiando la variable que se está controlando.

Modo de control Proporcional-integral-derivativo (PID)

El control PID es el resultado de la conjunción de los controles P, PI, PD. Este control ha sido uno de los de mayor aplicación en los procesos industriales, ya que es capaz de manejar rápidos cambios en la señal de error, y contrarestar el incremento de las desviaciones de la señal que se controla.

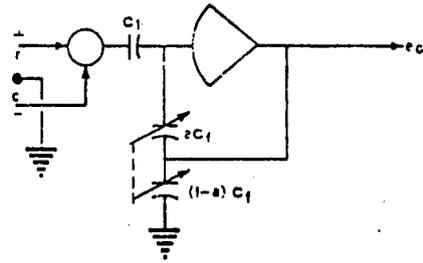
La función de transferencia que modela este sistema es la siguiente:

$$m = \frac{K_c}{T} \text{edt} + K_{ce} + T_d e' + M$$

Otro modo de control importante es el llamado de dos posiciones (on-off), que por ser bastante empleado merece se exponga alguna de sus características.

Control de dos posiciones (on-off).

El controlador de dos posiciones también llamado encendido-apagado es un sistema en el cual su nivel de salida puede asumir solo dos valores. (1)



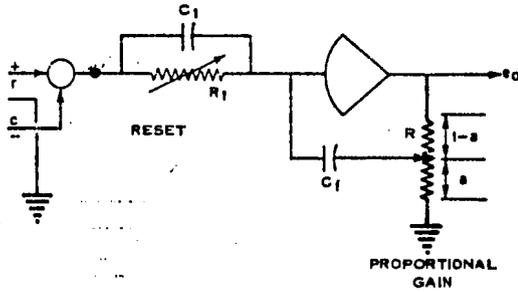
$$Z_1 = \frac{1}{sC_1}$$

$$K_c = \frac{C_1}{2C_1}, 0 < a < 1$$

$$Z_f = \frac{1}{sC_1}$$

$$e_c = +K_c(r-c)$$

fig III.4.2



$$Z_1 = \frac{1/s}{1 + \frac{1}{sC_1R_1}}$$

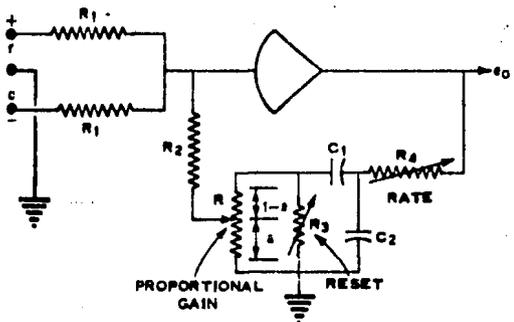
$$e_0 = \frac{Z_f}{Z_1}(r-c) = K_c \left[(r-c) + \frac{1}{T_1} \int (r-c) dt \right]$$

$$Z = \frac{1}{sC_f}$$

$$K_c = \frac{C_1}{sC_f}, 0 < a < 1$$

$$T_1 = R_1C_1$$

fig III.4.3



$$\frac{E_0(s)}{R(s)-C(s)} = K_c \left[\alpha + \frac{1}{T_1s} + T_D s \right]$$

$$K_c = \frac{R_2}{3R}, 0 < a < 1$$

$$T_1 = R_3C_1$$

$$T_D = R_4C_1$$

$$\alpha = \frac{R_3C_1 + R_4C_1 + R_4C_2}{R_3C_1}$$

$$R \gg R_3 \gg R_4$$

fig III.4.4

Generalmente esta clase de controles son eléctricos, pero también existen del tipo neumático e hidráulico, y se usan satisfactoriamente en procesos cíclicos.

En la figura III.4.1 se tiene el diagrama de un termostato, el cual es un típico control encendido-apagado.

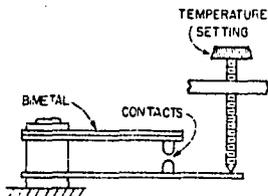


fig III.4.1

Los sistemas que se mencionaron en este tema son utilizados en la mayoría de los sistemas neumáticos, mecánicos e -hidráulicos, motivo por el cual la versatilidad de los sistemas electrónicos es más evidente ya que en éstos como ya se ha dicho no solo se pueden implementar los modos tradicionales de control.

En las figuras III.4.2, III.4.3, III.4.4 se tienen algunos circuitos básicos que modelan los controles P, PI, PID, respectivamente.

III.5 CLASIFICACION Y CARACTERISTICAS DE SISTEMAS DIGITALES.

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

- A) Sistemas de control regulador.
- B) 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 III.5.1

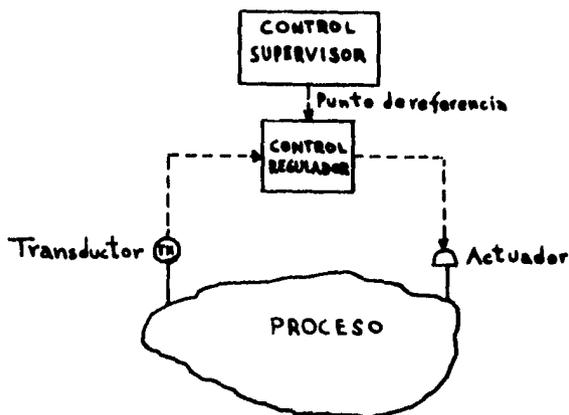


fig III.5.1

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

A) 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 efectuar alguno, para mantener los valores críticos 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." (3) "Las características que se encuentran en estos sistemas son: requerir gran número de entradas, muestreo rápido de dichas entradas, computación relativamente veloz, se requiere un gran número de salidas, equipo de respaldo para fallas". (1)

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

B) 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" (3) Por otra parte, como ya - se mencionó, podemos considerar que estos sistemas generalmente son los responsables del procesamiento numérico de la información de acuerdo al algoritmo de control que se esté aplicando, con - el fin de obtener el mejor proceso posible.

"Entre las características que presentan este tipo de sistemas se encuentran: requerir un menos número de entradas respecto a los controladores reguladores, menor equipo de respaldo, computación relativamente lenta, y muestreo relativamente lento". (1). 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 esclavo de un sistema supervisor, siendo este a su vez esclavo de otro sistema supervisor y así sucesivamente.

Debido a las dificultades que presentaría efectuar un análisis completo de cada uno de los sistemas antes mencionados, nos limitaremos a tratar algunos aspectos importantes de los controles 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:

Los expendedores de componentes proveen el equipo básico que se puede emplear para implementar 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 sistemas a sus necesidades en lugar de amoldar sus necesidades a sus sistemas.

Ejemplos de componentes vienen a ser los sistemas de adquisición de datos. Entendiéndose por un sistema de adquisición de datos aquel en el cual se pueden realizar las funciones siguientes:

- 1.- Conversión de las señales del proceso a una forma útil para un sistema digital.
- 2.- Transferencia de la información digitalizada a la memoria de la computadora maestra encargada del proceso.
- 3.- 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 difiriendo de los de pro

pósito general en el hecho que cuentan con una arquitectura interna altamente especializada orientada hacia 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 construídos 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 las podemos clasificar como sigue:

Alarmas de límite absoluto: "Este tipo de dispositivos también se conoce con el nombre alarmas "Alto-Bajo", - las cuales se activan cuando la variable del proceso - excede alguno de los límites permitidos, ya sea inferior o bien superior". (3)

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". (3)

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". (3)

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". (3)

Alarmas de cambio de estado: "Esta clase de alarmas - entra en funcionamiento cuando el estado de la variable de entrada cambia". (3).

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".

III.6 NIVELES JERARQUICOS DE SISTEMAS REGULADORES DE CONTROL.

El gran desenvolvimiento 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 según (3) 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.

En las siguientes líneas se examina cada uno de los - sistemas arriba citados.

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 dentro de 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. (3) En este sis-

tema se acepta una señal de algún proceso, la cual mediante alguna forma de control es procesada, y se obtiene una señal de salida apropiada para un actuador.

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

Comparando los sistemas con arquitectura integral con los antiguos sistemas neumáticos y eléctricos, se puede decir que no existe mucha variación con respecto a la lógica que utilizan los de arquitectura integral y el modo de control analógico PID muy usado por los sistemas mencionados.

CONTROLADORES DE ARQUITECTURA SEPARADA:

Este sistema básicamente es similar al anterior solo que en este caso la unidad de proceso está separada de la interfase para control del operador.

Una ventaja de este tipo de sistemas 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 proceso puedan ser peligrosas.

En estos controladores las funciones de control son implementadas en circuitos impresos que se introducen en la unidad de 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.

En la línea de control SPEC 200 de "Foxboro Company" se pueden encontrar disponibles sistemas de arquitectura separada.

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 computado-

ra 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 interfase remota, la cual solo 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.

CONTROLADORES DE LOGICA PROGRAMABLE.

Un controlador de lógica programable (PLC) de acuerdo a las normas NEMA se define como un dispositivo electrónico operado digitalmente, que usa memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones, con las cuales se implementan funciones específicas tales como secuencias lógicas, acciones de conteo, de tiempo y aritméticas, todo para el control de máquinas y procesos. (5)

Un PLC se ha usado esencialmente para reemplazar relés, relés, relojes (timers) y secuenciadores en sistemas de control tradicionales, y son diseñados 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.

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 se 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 interfase para que el operador mantenga una comunicación con el sistema, la - cual puede ser una terminal CRT en el mejor de los casos. También es necesario contar con todos los sistemas de emergencia y alarma que se requieran.

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

III.7 ESPECIFICACIONES DE SISTEMAS DE CONTROL.

En las especificaciones de operación para un sistema - de control se consideran características como: velocidad de res puesta, estabilidad relativa y precisión principalmente.

Las especificaciones se pueden clasificar en dos grupos:

1) "Especificaciones en el dominio temporal.

En el dominio temporal se tienen características importantes como el sobrepaso, tiempo de asentamiento, tiempo de levantamiento, razón de decremento, etc."

(8)

2) "Especificaciones en el dominio de la frecuencia.

Se tienen el margen de ganancia, margen de fase, frecuencia de operación, frecuencia de resonancia principalmente" (8)

Las especificaciones mencionadas son típicamente usadas para sistemas analógicos, para el caso de un sistema digital se tienen especificaciones muy diferentes, e incluso el número de - éstas es mucho mayor.

Algunas características que es importante especificar para un sistema digital son:

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

III.8 CARACTERISTICAS BASICAS DE CONTROLADORES COMERCIALES.

Como ya se mencionó, la complejidad de los sistemas digitales de control es muy variado. por lo cual durante esta sección nos abocaremos únicamente al estudio de las características más comunes encontradas en los controladores del tipo arquitectura integral, contando con una orientación para el procesamiento de datos en forma "En línea" (on line), para tiempo real.

Del análisis de los diferentes sistemas de control encontrados en el mercado, se llega a la conclusión que las características que se muestran a continuación son las más comunes.

- Suministro eléctrico de 24 volts D.C.
- Entradas analógicas (varía su número entre 1 y 8 puertos de entrada)
 - a) rango de voltajes de entrada entre 0 y +1 volt (sin convertir a digital)
 - b) 0 y +5 volts unipolares (saliendo de un convertidor A/D)
- Resolución de 10 a 14 bits.
- Precisión del $\pm 0.02\%$
- Rango de temperaturas de operación -50°C a $+150^{\circ}\text{C}$

- Manejo de salidas analógicas (varían su número entre 1 y 8 puertos de salida)
 - a) Salida de corriente con valores entre 0 y 20 mA.
 - b) Salida de voltaje unipolar entre 0 y +5 volts de D.C.
- Entradas y salidas ópticamente o bien magnéticamente aisladas.
- Capacidad de implementar al menos los algoritmos de control On-Off, P, PI, PID.
- Capacidad de memoria para implementar algún otro algoritmo de control distinto a los anteriores.
- Capacidad de capturar y almacenar en memoria los puntos de calibración (set point)
- Capacidad de manipular señales digitales de entrada, pudiendo ser:
 - a) Mediante puertos de entrada paralelo, (varía su número entre 1 y 8) con un rango de voltaje de entrada de 0 y +5 volts unipolares.
 - b) Mediante puertos de entrada serie (varía su número entre 1 y 8; generalmente son dos) con velocidades programables que varían en un rango de 110 a 9600 Bands (bits/seg).
- Capacidad de manipular la información en una unidad central de proceso, que generalmente es un microprocesador.
- Diferentes configuraciones y tipos de memoria de estado salida, ya sea RAM o bien ROM. (que serán tratadas con detalle en capítulos siguientes).
- Compatibilidad con diferentes sistemas y canales de información (Generalmente es el cana "Bus S-100 que será explicado en capítulos siguientes).

Entre los sistemas de control que presentan algunas de estas características se encuentran el modelo Micro M869 de la compañía Spectra_Tek Inc.; los modelos 81-260, 83-230, 80-153 A y 80-280A de la compañía John Bell Engineering Inc., los modelos 560 y 561 de la compañía Barber-Colman, los modelos AutoCalc y Autodata Ten/30 de la corporación Acurex, división Autodata, entre muchos.

III.9 BIBLIOGRAFIA.

- 1.- "Chemical Engineers Handbook" Robert H. Perry y Cecil H. Chilton. Ed. Mc.Graw-Hill Book Co.
5a. Edición. 1973
- 2.- "Electronics Engineers Handbook" Donald D. Fink.
Ed. McGraw-Hill Book Co.
1a. Edición. 1975
- 3.- "Instrumentation and Control Systems" Cecil L. Smith.
Ed. Chemical Engineering International News.
McGraw Hill Book Co. Junio 25, 1984
- 4.- "Discrete-Time Systems. An Introduction with Interdisciplinary Applications". James E. Codzow.
Ed. Prentice-Hall Inc. 1a. Edición. 1973
- 5.- "Applied Instrumentation in the Process Industries".
Andrew William G. Ed. Gulf Publishing Co. Vol. I.
2a. Edición 1979
- 6.- "Process Instruments and Control Handbook"
Douglas M. Considine. Ed. McGraw Hill Book Co.
2a. Edición 1974
- 7.- "Encyclopedia of Instrumentation and Control"
Douglas M. Considine. Ed. McGraw Hill Book Co.
2a. Edición 1971
- 8.- "Diseño de un Controlador Aplicando la Tecnología del Microprocesador" Tesis Profesional. por Jesús A. Patiño Ramírez. Facultad de Ingeniería. U.N.A.M. Editada 1978
- 9.- "Micro M869 Handbook" Editado por Spectra-Tek Inc. División Instrumentación. 1983
- 10.- "Catalog. Microcomputers/interfaces for Engineers/Scientist. Editado por: John Bell. Engineers Inc.
Edición 1984

CAPITULO IV

M I C R O C O M P U T A D O R A S .

- IV.1 Definición de una computadora.
- IV.2 Arquitecturas existentes en sistemas computarizados.
- IV.3 Sistemas de utilización de recursos.
- IV.4 Lenguajes e instrucciones empleadas en computación.
- IV.5 Interrupciones en sistemas de cómputo.
- IV.6 Tipos, características y configuraciones de memoria.
- IV.7 Normas más empleadas en sistemas de cómputo.
- IV.8 Características de microcomputadoras comerciales.
- IV.9 Bibliografía.

IV.1 DEFINICION DE UNA COMPUTADORA.

Desde el inicio de los tiempos de la humanidad, el hombre ha sentido la necesidad de emplear dispositivos que le faciliten y a su vez le agilicen las diferentes operaciones aritméticas que intervienen en su convivencia cotidiana. Se han desarrollado diferentes clases de dispositivos capaces de brindar la simplificación de trabajo tanto buscada; sin embargo, el ejemplo más ingenioso entre los primeros implementos aritméticos viene a ser el ábaco. "Este predecesor primitivo (data entre los años 4000 y 3000 A.C.) de las modernas computadoras, consiste de un marco rectangular que porta varios alambres paralelos. Cada alambre contiene un número determinado de cuentas las cuales pueden deslizarse libremente a lo largo de toda la extensión del alambre. Los romanos llamaban a estas cuentas calculi que viene a ser el plural de cálculo que a su vez significa guijarro. Esta raíz latina da lugar a la palabra calcular, tan empleada actualmente (1). Empleando adecuadamente dichas cuentas un operador podía sumar, substraer, multiplicar e incluso dividir velozmente, ésto dió lugar a que posteriormente se desarrollaran sistemas más sofisticados para procesar según se requiriera los datos empleados. Un paso importante en este desarrollo tuvo lugar cuando hicieron su aparición las modernas computadoras, las cuales se entiende que "son dispositivos que determinan la solución de algún problema en base a cálculos, pudiendo deberse dichos cálculos a la aplicación de un conjunto de operaciones lógicas o bien matemáticas, a diferentes datos o informaciones para obtener un resultado denominado solución" (2).

Por otra parte, "las computadoras generalmente se clasifican según su tipo, propósito y capacidad. En cuanto a su tipo, las podemos dividir en: analógicas, digitales e híbridas. Esto se refiere a la manera como representan y manejan los datos. En las computadoras analógicas, las variables son continuas y resuelven los problemas a partir de la interconexión de circuitos electrónicos cuyo comportamiento es análogo a la ecuación que se

desea resolver. Las computadoras digitales por su parte operan con señales discretas, que en forma codificada, representan las variables con que se está trabajando y pueden manejar una gran cantidad de información.

No obstante que básicamente sólo existen computadoras analógicas y digitales es posible combinar las características de ambos en un mismo sistema que es denominado híbrido. (3)

A su vez, podemos dividir el campo de las computadoras digitales según su propósito en: sistemas de propósito general y sistemas de propósito específico; siendo de aplicación general cuando están diseñadas para poder resolver cualquier problema, - mientras que las de propósito específico representan la implementación de cierto algoritmo para resolver sólo unas cuantas clases de problemas.

Al clasificar las computadoras en cuanto a su capacidad nos referimos a la capacidad en el manejo y almacenamiento de la información. Pudiendo ser desde pequeñas que cuentan con una memoria de 65 kilobytes hasta grandes con una memoria cercana a 1000 Megabytes.

Observando todo lo anterior notamos la necesidad de definir de manera más precisa lo que se entiende por una computadora digital, por lo tanto, diremos que una "computadora digital" es una máquina capaz de manipular números binarios (datos) siguiendo una secuencia organizada de pasos (programa). Cada paso en dicha secuencia se denomina instrucción. Las computadoras independientemente de su tamaño, son máquinas que presentan como características las siguientes:

- 1.- Un medio de entrada, por el cual las instrucciones y los datos pueden ingresar.
- 2.- Una memoria, desde la cual se pueden obtener tanto los datos como las instrucciones, pudiéndose almacenar también los resultados obtenidos.
- 3.- Una sección de cálculo, la cual es capaz de realizar operaciones lógicas o bien aritméticas sobre cualquier dato proveniente de la memoria.
- 4.- Una sección de control, capaz de tomar decisiones refe-

rentes a los diferentes cursos que deben tomar la acción para obtener un resultado en base a cómputos.

- 5.- Un medio de salida por medio del cual los resultados pueden ser proporcionados al usuario.

Las máquinas que satisfacen estas cinco propiedades son conocidas como computadoras clase Harvard. Por otra parte, si en adición a estas propiedades, las instrucciones se almacenan en la misma forma que los datos y además dentro de la misma memoria, siendo igualmente accesibles a la sección de cálculos de la computadora, pudiendo las instrucciones ser tratadas como datos, a su vez, la misma máquina puede modificar sus instrucciones. Este tipo de máquina se denomina computadoras clase Princeton o Von Neumann. (4)

Antes de determinar los componentes esenciales de toda computadora, es conveniente hacer notar que todo sistema computacional está constituido por dos secciones íntimamente relacionadas, siendo la primera los elementos físicos propios del sistema denominados comúnmente como circuitería (hardware); siendo la segunda parte todos los elementos lógicos y no tangibles que involucran la programación del sistema a esta sección se le denomina comúnmente como programación (software). Si a su vez se tiene una implementación física de un elemento de programación se dice que dicha combinación constituye lo que se conoce como Firmware. En otras palabras, el Firmware constituye una combinación Hardware y Software.

Los componentes básicos que constituyen cualquier sistema de cómputo, ya sea grande o pequeño vienen a ser cuatro consistentes en: unidad de entrada/salida, unidad de memoria, unidad lógica-aritmética y unidad de control. En la figura IV.1.1. se puede apreciar las relaciones que guardan entre sí cada una de estas unidades. A continuación se explica con un poco más de detalle cada una de estas divisiones.

Trataremos primero con la unidad de memoria: todas las computadoras cuentan con cierta cantidad de memoria interna, algunas ocasiones a esta clase se le denomina memoria principal; por otra parte, existe cierta memoria externa que también es conocida como memoria secundaria, ejemplos de esto son los discos,

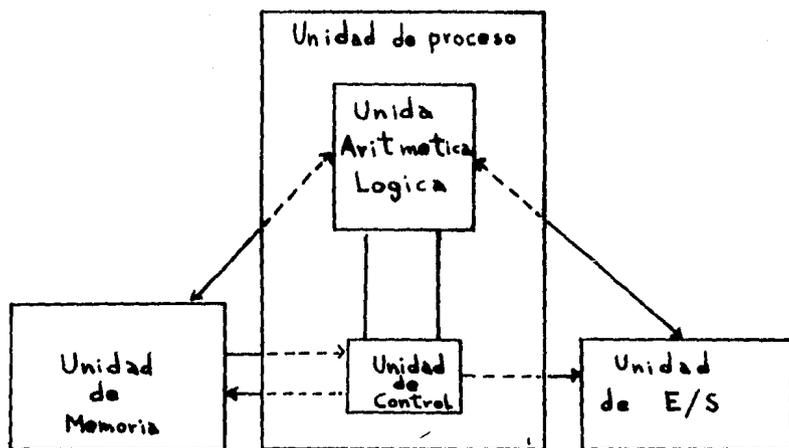


Fig. IV.1.1 Componentes Básicos

las cintas magnéticas, los videocassettes, etc. Estas dos memorias difieren tanto en características como en el propósito. - Se profundizará en el estudio de las memorias en temas subsecuentes.

Las unidades de entrada y salida son los medios mediante los cuales la información es transmitida desde o hacia la máquina. Esto es, proveen a la computadora de comunicación bidireccional con el medio ambiente.

La unidad de lógica-aritmética (ALU) efectúa las operaciones aritméticas tales como suma, resta, multiplicación y división, así como operaciones lógicas tales como comparación de valores para ver cual es mayor, etc.

La unidad de control regula todas las acciones de los tres elementos de la computadora. La combinación de la unidad de control con la unidad lógica-aritmética se conoce comúnmente como Unidad Central de Proceso (CPU). (5) o más simplemente procesador.

Es importante hacer notar que los procesadores se clasifican mediante la cantidad de bits (dígitos binarios) una cierta cantidad de información a procesar, denominada comúnmente como palabra de procesador; pudiendo ser de 4, 8, 16 y 32 bits, actualmente en microcomputadoras, variando los números en sistemas grandes. Esta clasificación es independiente de la construcción del procesador bajo diferentes tecnologías, entre las que se pueden encontrar: procesamiento en paralelo, procesamiento en serie, pipeline, bit-slice, carry look ahead, etc. A continuación se explican brevemente cada una de estas cinco tendencias tecnológicas.

Bajo la tendencia tecnológica de procesamiento en paralelo, la información ingresa al procesador en forma de unidades específicas de memoria denominadas palabras, las cuales son almacenadas físicamente en dispositivos electrónicos denominados registros, que se encuentran dispuestos de tal manera que permiten el acceso a ellos en forma simultánea de un número predeterminado de palabras para ser procesadas con mayor rapidez, esto en función del algoritmo programado. A esta disposición de los registros que provee de una manipulación veloz de la información -

se le conoce como procesamiento en paralelo.

Por otra parte, si las palabras no son almacenadas en paralelo, sino por el contrario, se almacena y procesa cada palabra que llega, se está hablando en ese caso de procesamiento en serie.

Los procesadores que están contruidos bajo la tendencia "Pipeline" pese a ser de propósito general, internamente cuentan con una serie de procesadores que ejecutan diferentes operaciones específicas de manera muy ágil, lo cual incrementa la velocidad de operación del sistema. En este caso, en cuanto ingresa una palabra es transmitida a alguno de los procesadores específicos, para ser manipulada y así obtener una respuesta.

Otra modalidad que se encuentra presente en la construcción de procesadores, es la tendencia "Bit-Slice", en la cual el procesador está constituido internamente por subsistemas digitales en los que la arquitectura interna y las posibles funciones a ejecutar son exactamente las mismas, presentándose la ventaja que con estructuras sencillas, la magnitud de las palabras, procesadas es mayor, pudiéndose además efectuar un procesamiento veloz de la información.

La última modalidad mencionada consiste en la tendencia "Carry look ahead" que se puede entender como acarreo anticipado. Los elementos internos que constituyen un procesador son capaces tomando en cuenta los dígitos a procesar, de anticipar si existe o no un acarreo al sumar dos de estos números, con la finalidad de agilizar el procesamiento de la información, no obstante, antes de dar la respuesta final verifican la existencia en forma real del bit de acarreo. Cada elemento de este tipo de sistemas cuenta con una entrada para el bit de acarreo entrante además de tener una salida para el bit de acarreo obtenido.

Por otra parte, una manera distinta de clasificar los sistemas de cómputo es en base a la forma en que son explotados sus servicios, teniéndose en forma común cuatro modalidades diferentes a saber: (5)

- Procesamiento por bloque (Batch processing)
- Procesamiento "en línea" (On-Line processing)
- Procesamiento en interacciones por tiempo compartido (interactive time sharing processing)

- Procesamiento en tiempo real (Real time processing)

"El procesamiento en bloque es un método mediante el cual se agrupan trabajos o problemas similares para un procesamiento secuencial durante una misma y continua operación de la máquina con un programa. Por el contrario si tan pronto aparece una tarea a ejecutar es procesada por el C.P.U. se tendrá entonces un sistema "En Línea".

El procesamiento en interacciones de tiempo compartido consiste como lo indica su nombre en compartir el tiempo de procesamiento del C.P.U. entre varios usuarios al mismo tiempo, de manera tal que aparente ser un procesamiento continuo con cada usuario, esto es, como si la máquina no estuviera siendo compartida.

Por su parte, el procesamiento en tiempo real consiste en el procesamiento de datos que se derivan de una operación particular de una manera lo suficientemente rápida como para permitir que los resultados estén disponibles en tiempo como para afectar la operación continua del sistema. (11)

La diferencia que existe entre tiempo real y tiempo compartido estriba en el hecho que durante un procesamiento en tiempo real los usuarios, que pueden ser varios al mismo tiempo, están haciendo uso de un mismo programa que se ejecuta continuamente, mientras que en tiempo compartido los diferentes usuarios pueden estar ejecutando diferentes programas a la vez.

En el transcurso de temas subsecuentes se tratarán algunas otras características presentes en los sistemas de cómputo.

IV.2 ARQUITECTURAS EXISTENTES EN SISTEMAS COMPUTARIZADOS.

Como ya se ha mencionado en el tema precedente, una computadora está constituida en esencia por tres elementos básicos, los cuales son la unidad central de proceso (CPU), la unidad de entrada y salida y la unidad de memoria. El término arquitectura ha sido empleado generalmente para describir la interconexión de las tres unidades antes mencionadas, pero también se ha-

ce referencia a este término cuando se habla acerca de la forma de organización que presenta el sistema, en cuanto a modos de - direccionamiento, tipos de instrucciones, procedimientos de entrada y salida, manejo de memoria, etc.

En este tema se describirán algunas de las arquitecturas mas usadas en la construcción de computadoras, refiriéndonos a dichas arquitecturas como las diferentes posibilidades que - existen para interconectar los elementos básicos que constituyen un sistema de este tipo, para lo cual será necesario tener - presente el concepto de canal (BUS) de comunicación.

Un canal de comunicación puede ser definido como un arreglo paralelo de líneas que encadenan unidades fuente con unidades destino (17), así alguna fuente puede transmitir datos por el canal y una o varias unidades destino pueden remover los dattos de este.

El término canal de comunicación no se refiere únicamente a las líneas que conectan las componentes de un sistema, sino que también se consideran como parte del canal a todos los mecanismos utilizados para controlar el acceso a las líneas de comunicación (7).

Se pueden tener canales unidireccionales, que transmiten información en una sola dirección, y también canales bidireccionales. A un canal se le denomina "dedicado" cuando solo esta enlazando una fuente y un destino únicamente. Si se requieren conectar N unidades en todas las formas posibles, se necesitarán $N(n-1)$ canales dedicados.

La estructura de una computadora puede estar formada de una o más líneas de direcciones, una o más líneas de datos, y al menos una línea de control, así como varias líneas de comunicación con el exterior, todo este conjunto de vías constituirán un canal (BUS) de comunicación. Sin embargo, es posible encontrar canales formados por una sola línea de transmisión, en los cuales la comunicación se realiza en serie, es decir se presentan las señales de control, direcciones y datos unas tras otras.

El costo asociado a un canal de comunicación, el cual está en función de la longitud de este, materiales utilizados en su construcción, y dispositivos que utiliza para el manejo de la información (multiplexores, drivers, receivers, etc.), ha hecho que los sistemas se diseñen si es posible con un canal compartido por varios elementos, con el cual se llega a reducir el costo del sistema.

Existen varias formas de conectar los elementos básicos de una computadora, pero vamos a considerar las estructuras más comúnmente usadas.

Arquitectura de un solo canal (Unibus)

En este tipo de arquitectura los elementos del sistema se conectan en paralelo por medio de un solo canal, en el cual se incluyen las líneas de control, dirección y de datos. En esta estructura el canal puede ser usado para una sola transferencia de información en cada tiempo, y solo se activan dos de las unidades conectadas, en cada transferencia.

Una de las ventajas de este tipo de estructura es su bajo costo y la flexibilidad que presenta para conectar dispositivos periféricos. (7).

Esta arquitectura es de uso frecuente en el diseño de computadoras pequeñas llamadas minicomputadoras y microcomputadoras.

Arquitectura de dos canales:

En esta estructura la unidad central de proceso (CPU) interactúa con la memoria y con los dispositivos de entrada y salida por medio de canales diferentes, en esta configuración las funciones de entrada y salida están bajo el control directo de la unidad de control del CPU.

Existe otra versión de esta arquitectura, en la cual las posiciones relativas de la unidad de proceso y la memoria están cambiadas con respecto a la configuración anterior, y en este caso se puede tener un acceso directo a memoria (DMA), sin pasar primero por el CPU.

En el diseño de sistemas formados con varias unidades de procesamiento (Sistemas multiprocesador), se utilizan gene-

ralmente las arquitecturas, antes descritas, como base para desarrollar sistemas más complejos.

Ahora bien en la interconexión entre varios componentes se presentan algunos problemas, uno de los cuales es la distancia que existe entre dichos componentes, pero este problema solo es importante cuando se tienen sistemas formados por varias computadoras (Redes) o cuando los elementos de un sistema tienen que estar separados una distancia considerable.

Cuando se van a interconectar los elementos de un sistema se presenta otro problema, el cual es determinar el número y tipos de señales que se deben usar para la comunicación de estos (generalmente se trata de sistemas multiprocesadores), como ejemplo de este problema se encuentra un sistema que se comunica al exterior mediante un conjunto de líneas de datos y de control pudiendo emplearse estas para conectarse con otros componentes. La especificación de estas líneas o canales constituyen la interfase del sistema (8) la cual siempre se busca esté estandarizada para poder lograr una comunicación con la mayoría de los sistemas que se encuentren en el mercado.

En los sistemas formados por varias computadoras usualmente las distancias entre estas y otros dispositivos es larga, por lo que siempre se busca tener arquitecturas que permitan al menos tener una razonable velocidad de operación. Para reducir los costos de transmisión, que en largas distancias son altos, - se utilizan canales compartidos.

Como se mencionó antes existen sistemas integrados por varios procesadores llamados sistemas multiprocesador, los cuales tienen varias ventajas sobre los sistemas de un solo procesador (sistema uniprocesador)

Hay dos razones principales para incluir varios procesadores en un sistema:

- 1.- Aumento en la eficiencia de ejecución del sistema.
- 2.- Incremento en la confiabilidad.

La eficiencia en la ejecución de un sistema multiprocesador se logra a que el conjunto de procesadores se ocupan de una misma tarea o de varias simultáneamente, con lo que se logra una reducción significativa en el tiempo de ejecución. (8). La

confiabilidad estriba en que si en cierto momento se presenta una falla total en el sistema, ya que las funciones del procesador que ha fallado, son llevadas a cabo por otro de los procesadores que constituyen el sistema.

A los sistemas que son capaces de realizar varias tareas simultáneamente se les llama sistemas multiproceso.

IV.3 SISTEMAS DE UTILIZACION DE RECURSOS.

En temas anteriores se han mencionado los diferentes elementos que constituyen un sistema de cómputo, sin embargo, se puede llegar a la conclusión que es difícil abordar únicamente aspectos de programación sin tratar aspectos de circuiteria o viceversa. Por esta razón "es preferible emplear el término sistema de cómputo que describe mejor con lo que está relacionado el usuario, en lugar de computadora, el cual tiene implicaciones netamente de circuiteria, dejando aparte el aspecto de programación". (5) Para la mayoría de los usuarios de los sistemas de cómputo, de hecho, los componentes de programación son de gran familiaridad. Por el contrario, generalmente los usuarios no tienen una idea clara, además de no preocuparles grandemente, toda la circuiteria que entra en operación cuando sus programas son procesados.

En los primeros días de la computación, los usuarios de los sistemas interactuaban con la circuiteria, de manera más directa de lo que es común hoy en día. Actualmente la tendencia difiere de la anterior ya que los tiempos de las reacciones humanas son demasiado lentas en comparación con las velocidades manejadas por las máquinas, introduciéndose grandes e inaceptables periodos de espera. Gran número de las funciones que una vez fueron realizadas por los mismos usuarios, son ahora manipuladas mediante programación especial conocida como "Sistema Operativo". "El término sistema operativo denota aquellos módulos de programas dentro de un sistema de cómputo, capaces de gobernar el control de los recursos del equipo tales como: procesadores, memoria principal, memoria secundaria, dispositivos de en-

trada y/o salida, archivos. Estos módulos resuelven conflictos, tratan de optimizar el rendimiento y simplifican el uso efectivo del sistema; por otra parte, actúan como interfase entre los usuarios de programas y la circuitería del sistema". (6)

Dichos módulos de programación se denominan de diferentes maneras tales como: Control, Monitor, Ejecutor, Supervisor y Sistema Operativo. Las distintas denominaciones dependen de la jerarquía del control que se va a realizar sobre el sistema.

Un sistema de control generalmente realiza unas cuantas operaciones, cuenta con poca cantidad de memoria y generalmente se encuentra directamente implementado en la circuitería, por lo tanto es empleado en sistemas rudimentarios de cómputo. Un sistema monitor realiza las funciones de un sistema de control, pero se incluyen más operaciones e instrucciones capaces de ser ejecutadas, dispone de una memoria pequeña, generalmente está orientado a la operación específica del sistema y se encuentra contenido en una memoria tipo ROM. Su aplicación principal son los microsistemas digitales que cuentan ya con un microprocesador. Por otra parte, un sistema ejecutor permite efectuar diferentes operaciones y de complejidad muy variada, sin embargo, está orientado a ejecutar secuencias de instrucciones, contando con una memoria mayor que los dos casos anteriores. Aplicación de esta clase de programas se tiene en sistemas de control o bien en sistemas de cómputo medianos (no tan complejos como una microcomputadora). Los sistemas supervisores no realizan únicamente las operaciones ejecutorias, sino que también realizan una acción supervisora sobre la forma en que se realizan las operaciones además de supervisar el comportamiento de diferentes partes del sistema. Por último, los sistemas operativos realizan operaciones ejecutorias, supervisoras y además de control general del sistema se encuentran almacenados en una gran cantidad de memoria en muchos de los casos se encuentra una parte en memoria ROM y otra en disco magnético. La aplicación de los sistemas operativos tiene lugar en sistemas complejos de cómputo, tales como microcomputadoras, minicomputadoras, midi y maxicomputadoras. "En su gran mayoría, cada uno de los fabricantes de esta clase de siste

mas de cómputo ha desarrollado su propio sistema operativo, ya que atienden siempre a los requerimientos propios de cada máquina que varían grandemente de una compañía a otra. Ejemplos de sistemas operativos comunes son: CP/M-80, MS-DOS, Apple-DOS, Pro-DOS, Unix, Pick TRSDOS, Macintosh/Lisa, etc.

Entre los primeros sistemas operativos orientados al manejo de microprocesadores esta el CP/M que significa Programa de Control para Microprocesadores (Control Program for Microprocessors); continuándose el desarrollo hasta sistemas tan complejos pero que a su vez facilitan grandemente las operaciones del usuario; como el Macintosh o el Lisa diseñados para la compañía Apple Inc." (10)

Los sistemas operativos antes mencionados cuentan, en su gran mayoría, con algún tipo de subsistema orientado a depurar los programas del usuario. Dicho subsistema es conocido como Depurador (Debug) y permite la ejecución de un programa, detectando a su vez errores existentes dentro de éste, brindando la posibilidad de corregirlos en el mismo instante en que son encontrados.

Los puntos de interrupción (Break-point) son lugares - en los cuales la ejecución de un programa se detiene automáticamente, pudiendo esperar a que el usuario examine el estado presente en el sistema. El programa usualmente no inicia nuevamente su ejecución a menos de que específicamente se indique.

La técnica paso a paso permite la ejecución de un programa instrucción por instrucción, esto es semejante a insertar un punto de interrupción justo después de cada instrucción. Por lo tanto los modos de paso a paso y puntos de interrupción se complementan mutuamente. Se pueden emplear los puntos de interrupción con el fin de localizar errores o bien para ejecutar conjuntos completos de instrucciones que previamente se sabe están correctas, teniéndose la facilidad de ejecutar paso a paso aquellas otras instrucciones que no se ha determinado si están o no correctas.

El paquete de utilería de una microcomputadora referente al vaciado de registros consiste de un programa que lista el

contenido de todos los registros internos de la unidad central de proceso (CPU).

Por otra parte, el vaciado de memoria se realiza mediante un programa que lista el contenido de la memoria en un dispositivo de salida tal como una impresora. Pequeños vaciados pueden proveer al programador de una cantidad razonable de información - que puede ser examinada como unidad (9).

Es posible la existencia de otros parámetros adicionales para poder efectuar el depurado de un programa estando determinada su existencia por cada fabricante de sistemas de cómputo.

En sistemas pequeños es frecuente encontrar depuradores insertados directamente en el programa monitor o bien se encuentran totalmente en su lugar, ya que permiten una mayor versatilidad en las operaciones.

Por otra parte, cuando se trata acerca de los sistemas de utilización de recursos de un sistema de cómputo, independientemente de su magnitud, es importante tener en mente tanto la calidad de los resultados obtenidos así como la respuesta de nuestro sistema ante el trabajo pedido; esto nos implica en cierta manera la eficiencia del sistema, la cual se entiende como un parámetro que califica la calidad de un equipo en base a ciertas medidas. Estas medidas se acostumbra clasificar en:

- A) ESTATICAS: Esta clase de medidas es inherente a las características propias del sistema; como por ejemplo el tiempo de respuesta a una cierta instrucción.
- B) DINAMICAS: Esta clase de medidas determinan el comportamiento del sistema de cómputo ante una carga de trabajo previamente determinada. Como por ejemplo la inversión de una matriz, etc.

A su vez, tanto las medidas estáticas como las dinámicas se subdividen en diferentes categorías por lo que tendremos para las medidas estáticas las siguientes:

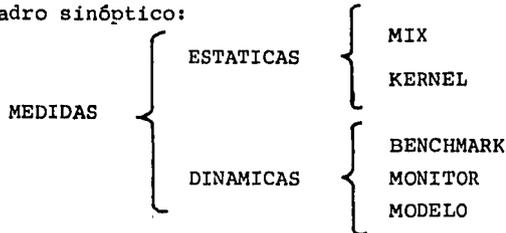
- 1.- Mix.- Mide básicamente el rendimiento interno del C.P.U en número de instrucciones ejecutadas por unidad de tiempo o bien, el tiempo medio de ejecución de una instrucción.

- 2.- Kernel.- Mide los programas que generalizan el procedimiento del Mix al nivel de funciones completas. Se puede entender que un Kernel es un conjunto de Mixes.

Para las medidas dinámicas tendremos:

- 1.- Benchmark:- Es el método de comparación de máquinas frente a una carga característica. Podría ser esta carga por ejemplo, la inversión de una matriz.
- 2.- Monitor:- Es una herramienta de medición que permite analizar el comportamiento de todos los elementos de un sistema de cómputo completo.
NOTA: No hay que confundir este monitor con el sistema operativo que lleva el mismo nombre.
- 3.- Modelos:- Es el método mediante el cual se simula ya sea por programación o mediante la circuitería cierto proceso o periférico, esto con la finalidad de analizar su comportamiento ante una carga.

Las medidas antes mencionadas se pueden resumir en el siguiente cuadro sinóptico:



Ahora bien, estas medidas están íntimamente relacionadas con ciertas magnitudes las cuales se listan a continuación:

Through put: Es la cantidad de trabajo útil por unidad de tiempo con una carga determinada. Entendiéndose por trabajo útil aquel que sí interviene en la ejecución de una tarea dada. Mediante esta magnitud se mide el trabajo o transacciones por unidad de tiempo.

- Capacidad:** Se refiere a la máxima cantidad de trabajo útil que puede ser realizada por unidad de tiempo para una carga determinada.
- Factor de utilización de componentes:** Se refiere al porcentaje del tiempo de ejecución, durante el cual un componente del equipo está siendo empleado.
- Overhead:** Se refiere al porcentaje del tiempo de ejecución de una instrucción durante el cual el C.P.U., mediante el sistema operativo, captura y decodifica las órdenes presentes.

IV.4 LENGUAJES E INSTRUCCIONES EMPLEADAS EN COMPUTADORES.

El medio que permite la comunicación entre el usuario y la computadora es el lenguaje, el cual del área de computación es conocido como "lenguaje de programación"

Un lenguaje está formado por:

Palabras: grupo de símbolos.

Operadores: palabras que indican una acción.

Expresiones: conjunto de palabras, ordenadas en forma lógica, que contienen al menos una acción.

Instrucciones: conjunto de expresiones que encierran una misma idea.

Inicialmente a las computadoras se les hacía funcionar por medio de un conjunto de instrucciones entendibles directamente por la máquina, las cuales constituyen el llamado lenguaje de máquina. A medida que las computadoras se han ido desarrollando se ha perfeccionado la forma de comunicación con ellas, contando hoy en día con lenguajes más parecidos a los utilizados comúnmente por el hombre. (14)

Los lenguajes se dividen en lenguajes de alto nivel y bajo nivel:

En los lenguajes de alto nivel, tenemos que por cada instrucción de este, se producen varias instrucciones de lenguaje de máquina, y en los de bajo nivel por cada una de sus instrucciones se produce una sola instrucción de máquina.

En los sistemas pequeños construídos a base de microprocesadores, como lo son los sistemas de control, se utilizan lenguajes de bajo nivel en su programación. Un lenguaje de bajo nivel es el denominado ensamblador, en el cual se utilizan símbolos nemotécnicos para las instrucciones.

En un lenguaje ensamblador cada instrucción equivale a un código hexadecimal. De hecho para programar un sistema con microprocesadores se introduce directamente al sistema los códigos binarios entendibles por el microprocesador. El conjunto de símbolos nemotécnicos que constituyen las instrucciones del lenguaje ensamblador solo son para mayor claridad del usuario.

Dentro del software de una computadora se encuentra un programa que tiene como función la de traducir el lenguaje de alto nivel al lenguaje de máquina correspondiente, checando al mismo tiempo que su sintaxis sea correcta. A este programa se le conoce como compilador.

Las instrucciones que componen el programa codificado por el usuario (en lenguaje de alto nivel) son llamados " programa fuente" y el código generado por un compilador a partir de ellas es llamado "programa objeto"

En una computadora se tiene un compilador para cada uno de los lenguajes que ésta acepte. En algunos sistemas el programa compilador se le llama traductor o intérprete.

Cuando en una computadora (del nivel que sea) se ejecuta un programa, cada instrucción de éste significa para el sistema realizar una secuencia de microinstrucciones llamada microprograma. Cada microinstrucción hace al sistema llevar a cabo una operación específica. Cuando se ejecuta una microinstrucción se envía una secuencia de señales de control, para que el sistema realice lo deseado. En este punto es pertinente definir los conceptos de control alambrado y control microprogramado.

En el control alambrado la secuencia de señales de control producidas por una microinstrucción van directo a una circuitería fija, la cual al recibir las señales realiza la operación especificada por la microinstrucción.

En el control microprogramado, cada microinstrucción -

En los sistemas pequeños construidos a base de microprocesadores, como lo son los sistemas de control, se utilizan lenguajes de bajo nivel en su programación. Un lenguaje de bajo nivel es el denominado ensamblador, en el cual se utilizan símbolos nemotécnicos para las instrucciones.

En un lenguaje ensamblador cada instrucción equivale a un código hexadecimal. De hecho para programar un sistema con microprocesadores se introduce directamente al sistema los códigos binarios entendibles por el microprocesador. El conjunto de símbolos nemotécnicos que constituyen las instrucciones del lenguaje ensamblador solo son para mayor claridad del usuario.

Dentro del software de una computadora se encuentra un programa que tiene como función la de traducir el lenguaje de alto nivel al lenguaje de máquina correspondiente, chequeando al mismo tiempo que su sintaxis sea correcta. A este programa se le conoce como compilador.

Las instrucciones que componen el programa codificado por el usuario (en lenguaje de alto nivel) son llamados "programa fuente" y el código generado por un compilador a partir de ellas es llamado "programa objeto"

En una computadora se tiene un compilador para cada uno de los lenguajes que ésta acepte. En algunos sistemas el programa compilador se le llama traductor o intérprete.

Cuando en una computadora (del nivel que sea) se ejecuta un programa, cada instrucción de éste significa para el sistema realizar una secuencia de microinstrucciones llamada microprograma. Cada microinstrucción hace al sistema llevar a cabo una operación específica. Cuando se ejecuta una microinstrucción se envía una secuencia de señales de control, para que el sistema realice lo deseado. En este punto es pertinente definir los conceptos de control alambrado y control microprogramado.

En el control alambrado la secuencia de señales de control producidas por una microinstrucción van directo a una circuitería fija, la cual al recibir las señales realiza la operación especificada por la microinstrucción.

En el control microprogramado, cada microinstrucción -

se lleva a cabo por medio de un microprograma que se encuentra almacenado en una memoria, es decir las señales de control producidas por la microinstrucción van a direccionar a la memoria (memoria de control), la cual responderá con las señales correspondientes para ejecutar la operación requerida. (13)

Es importante mencionar con respecto a los microprocesadores, que existen estos con lógica alambrada, así como también existen con la lógica microprogramada, los cuales ofrecen cierta ventaja sobre los anteriores, ya que pueden modificar sus instrucciones según las necesidades que se tengan.

IV.5 INTERRUPCIONES.

Mediante las interrupciones se pueden coordinar las actividades de la unidad de proceso de una computadora con todos los dispositivos periféricos.

Una interrupción hace que el procesador suspenda temporalmente la actividad que estaba realizando, para ir a atender al dispositivo que ha interrumpido, para lo cual el procesador almacena en un registro la dirección de la instrucción que estaba realizando para poder continuar su ejecución posteriormente justo donde la suspendió.

Un dispositivo externo interrumpe al procesador, al activar una de sus líneas de control, la cual es comúnmente llamada línea de solicitud de interrupción (interrupt request).

Cuando se tienen varios dispositivos, el procesador está continuamente verificando (polling) si alguno de ellos ha solicitado una interrupción. Cuando se tienen interrupciones simultáneas, generalmente el procesador atiende al dispositivo que tenga mayor prioridad. La prioridad se puede establecer haciendo un arreglo del procesador y los dispositivos a manera de cadena utilizando las terminales especiales para este propósito con que cuentan cada dispositivo, a estos arreglos se les llama encadenamientos margarita (Daisy Chain).

Existen varios modos de interrupción, los cuales especifican la manera en que el procesador atiende la interrupción.

En uno de los modos el procesador se va directamente a una dirección, en la cual principia la rutina de servicio de interrupción. Una rutina de servicio, es un conjunto de instrucciones que el procesador debe ejecutar cuando hay una interrupción. La rutina varía según el tipo de dispositivo que interrumpe.

Otro modo de interrupción, es en el cual el procesador pide al dispositivo que interrumpió, le envíe su vector de interrupción, el cual es la mitad menos significativa de una dirección de la memoria, la otra mitad se encuentra almacenada en un registro, y ésta es común a los vectores de los demás dispositivos. En esta dirección de la memoria formada por el vector y por el contenido del registro se encuentra la rutina de servicio.

Este modo de interrupción es muy poderoso ya que con él se pueden manejar varios dispositivos.

Existen 2 tipos de interrupciones: Interrupción mascarillable e Interrupción no mascarillable.

Una interrupción mascarillable es aquella que puede hacerse que el procesador no la tome en cuenta, lo cual se hace por medio de software.

La interrupción no mascarillable siempre es atendida por el procesador.

En los microprocesadores la interrupción mascarillable la cual se solicita en algunos procesadores activando la terminal \overline{INT} , se logra que el procesador la ignore con la instrucción (DI) (disable interrup); el procesador la ignorará hasta que ejecute la instrucción (EI*) con la cual se habilita nuevamente la interrupción.

Para solicitar una interrupción no mascarillable se activa la terminal \overline{NMI} (según el microprocesador). La interrupción no mascarillable no puede utilizar el modo de interrupción a base de vectores de interrupción. En esta interrupción el procesador da un salto a una localidad fija.

Otro tipo de interrupción es el que se presenta cuando un dispositivo requiere un acceso directo a memoria (DMA).

La forma más rápida para que un dispositivo lea y escriba en la memoria, en un microprocesador es por medio de un ac

*Esta instrucción es propia de un tipo de microprocesador, puede variar en otros sistemas.

ceso directo a memoria (DMA).

Existen dos modos posibles de DMA, uno de estos modos es el llamado DMA visible, en el cual la operación del microprocesador es temporalmente interrumpida mientras el dispositivo hace el acceso. El segundo modo es el denominado DMA transparente, en este modo el dispositivo que va a realizar el acceso se sincroniza con el microprocesador para no utilizar al mismo tiempo el mismo bloque de memoria (12).

El DMA visible con una señal externa que solicita el canal de comunicación (señales de control, datos, direcciones). La solicitud se hace activando cierta terminal (HOLD para algunos procesadores o BUSRQ para otros). Al finalizar el siguiente ciclo de máquina el microprocesador interrumpe su operación y otorga la solicitud activando otra terminal (HLDA o BUSAK, varía según el tipo de microprocesador).

IV.6 TIPOS, CARACTERISTICAS Y CONFIGURACIONES DE MEMORIA.

Como ya se mencionó, los sistemas de cómputo, independientemente de su tamaño, cuentan con dispositivos capaces de almacenar la información que va a ser procesada, pudiendo ser tanto datos como instrucciones; a esta clase de dispositivos se les denomina como memoria.

"La función primordial de la unidad de memoria es conservar en lenguaje máquina todos los datos que serán procesados, las instrucciones para procesarlos y los resultados obtenidos; - enviándolos a la unidad de lógica-aritmética, a la unidad de salida en que se obtendrán los resultados o a la unidad de control cuando alguna de estas lo necesite". (3) Para lograr esta función, se utiliza una gran variedad de equipos entre los cuales podemos distinguir los dispositivos de almacenamiento primario y los dispositivos de almacenamiento secundario.

"Los dispositivos de almacenamiento primario son capaces de operar a velocidades electrónicas, y en ellos se encuentran las instrucciones y datos al momento de su ejecución. Típicamente consisten en circuitos integrados de semiconductor y no

cleos magnéticos. Por otra parte, los dispositivos de almacenamiento secundario operan a velocidades electromecánicas, esto es, a velocidades mucho menores que las anteriores; en ellos se encuentran instrucciones y datos no muy próximos a ser ejecutados. Su construcción está basada en sustancias como óxido de hierro y se presentan en discos, cintas magnéticas, diskettes, cassettes, videocassettes, así como también tarjetas y cintas perforadas entre otros" (15).

Algunos sistemas de cómputo cuentan con una memoria - muy rápida que actúa como una extensión de la memoria primaria, para almacenar cantidades relativamente pequeñas de datos o instrucciones que se emplean rápidamente. Esta memoria llamada rápida, Caché o auxiliar, se construye con dispositivos que pueden ser más rápidos que los de la memoria principal, siendo generalmente circuitos integrados de semiconductor". (3)

A continuación se mencionan las características más importantes que deben ser consideradas en la unidad de memoria:

Tiempo de acceso: Es el tiempo transcurrido desde que la unidad de lógica-aritmética necesita alguna información (que se encuentra en memoria) hasta que ésta se encuentra totalmente disponible para su procesamiento. También es el tiempo transcurrido desde que alguna información en la unidad de lógica-aritmética está lista para almacenarse hasta el momento que se almacena en la unidad de memoria. (3)

Modo de acceso: Existen dos formas en que se puede tener acceso a una dirección de memoria: secuencial y aleatoria (o directa). La forma seleccionada por lo general depende del dispositivo empleado.

En el acceso secuencial para llegar a una dirección dada hay que pasar por todas las que existen hasta ella. Si el acceso es aleatorio, es posible llegar a la dirección dada en forma directa sin tener que pasar por ninguna otra; en este tipo el tiempo de acceso es casi igual para cualquier localidad de memoria, no siendo así para memorias secuenciales que tienen un tiempo de acceso variable lo que las hace más lentas.

Capacidad: Es la cantidad de unidades de información que puede - el dispositivo generalmente bits, bytes, caracteres o palabras.

Modo de grabación: Puede grabarse en serie, paralelo, serie-paralelo o paralelo-serie.

Por otra parte, las memorias pueden ser permanentes o volátiles, en el primer caso la información se conserva aún si se desconecta el suministro de energía, en el segundo caso ocurre lo contrario. Si la información puede removerse para colocar otra distinta se dice que el dispositivo es borrable.

La memoria puede ser cíclica si la información está disponible en intervalos regulares de tiempo, o no cíclica en caso contrario.

Si la información se encuentra en movimiento físico relativo al dispositivo se dice que la memoria es dinámica; si no existe movimiento la memoria será estática. "A dicho movimiento relativo se le conoce generalmente como refresco, y se presenta mediante intervalos específicos provenientes del sistema. (3)

"Es importante hacer notar que en una memoria, "el número de bits de manera común se denota como potencias de 2, aproximadamente de miles, los miles se expresan mediante la letra K. En algunas ocasiones la K puede ser empleada para indicar 1024; por ejemplo, un 1K de memoria contiene 1024 bits, mientras que 8K de memoria contienen 8192 bits. Sin embargo tiene gran importancia indicar en que manera están arreglados estos bits, ya que un 1K de memoria puede ser arreglado como 128 direcciones únicas de 8 bits cada una, o bien, 1024 direcciones con un bit cada una, o cualquier otro arreglo de direcciones y bits. (6)

Debido a que nuestro estudio está orientado al análisis de las microcomputadores, las cuales cuentan en la mayoría de los casos con memorias principales a base de circuitos integrados, nos abocaremos en el resto de este tema únicamente al conocimiento de algunas otras características de esta clase de dispositivos.

Tomando en cuenta la manera en la que operan las memorias de estado sólido, las podemos clasificar en dos grandes grupos que son: Memorias de acceso aleatorio o directo, que también

son conocidas como memorias de lectura y escritura, generalmente se denotan con las siglas R.A.M. (Random Access Memory). Siendo la otra clase de memorias las conocidas por el nombre de Memorias únicamente de lectura, que generalmente se denotan mediante las siglas R.O.M. (Read Only Memory).

Debido al avance tecnológico han surgido diferentes clases de memorias, las cuales, en algunos casos, se agrupan en forma de familias. En cuanto a las memorias del tipo R.A.M. no ha existido un gran cambio, estando agrupadas únicamente como de lectura y escritura, dentro de alguna de las modalidades ya mencionadas tales como dinámicas o estática, volátil, etc. Por su parte las memorias R.O.M. se encuentran agrupadas en varias familias que son: ROM, PROM, EPROM, EAPROM, EEPROM. A continuación se explican brevemente cada una de ellas:

Memorias de lectura únicamente de (ROM): Son memorias de lectura únicamente, siendo grabadas por el fabricante en el momento de su adquisición, presentando la característica que una vez grabadas no pueden ser borradas.

Memorias programables únicamente de lectura (PROM): Son memorias semejantes a las anteriores, con la variante que el usuario de estos dispositivos puede grabarlos una sola ocasión, sin tener que recurrir al fabricante para efectuar su grabación, la programación se realiza aplicando niveles de voltaje anormales en alguna entrada específica.

Memorias eléctricamente programables de lectura únicamente (EPROM): Son memorias únicamente de lectura que pueden ser grabadas por el usuario, con la variante que en caso de necesidad estas si pueden ser borradas un cierto número de veces, con la finalidad de escribir nuevamente sobre ellas. La programación se efectúa como en el caso anterior, sin embargo se logra el borrado aplicando luz ultravioleta durante cierto intervalo en una entrada específica. Teniéndose lo que se conoce también como UVPRM.

Memorias de lectura únicamente, alterables en forma eléctrica (EAPROM): Son memorias que sirven únicamente para leer información presentando la variante respecto a las anteriores

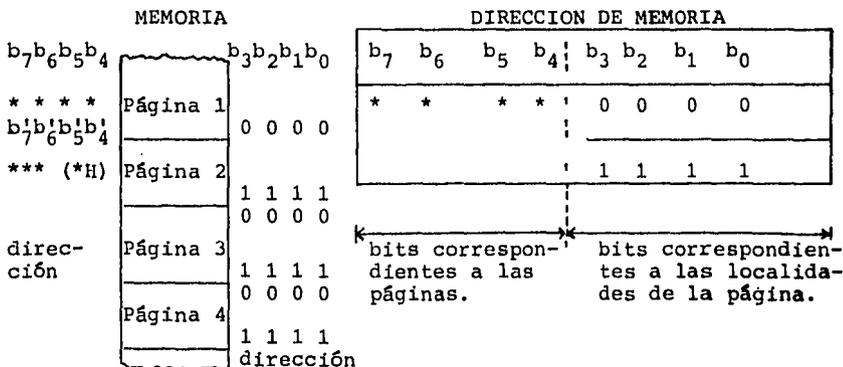
que al aplicar niveles anormales de voltaje en ciertas entradas, se logra alterar la información en forma de bloques.

Memorias de lectura únicamente que se pueden borrar en forma eléctrica (EEPROM): Son memorias semejantes a las ERPOM, - con la variante que no es necesario aplicar luz ultravioleta para lograr que se borren, sino por el contrario al aplicar niveles anormales de voltaje en ciertas entradas se logra su borrado.

Independientemente de la familia que se trate, las memorias ROM, se emplean para mantener información importante que no debe ser alterada, tal como el programa monitor, el programa inicial de carga, etc.

Las localidades de memoria pueden estar constituidas físicamente mediante una secuencia contigua de memorias, pudiendo ser en forma mixta tanto del tipo RAM como del tipo ROM. Existen básicamente dos métodos de ubicación de datos en la memoria, siendo estos el método de paginación de memoria y el método de mapas de memoria.

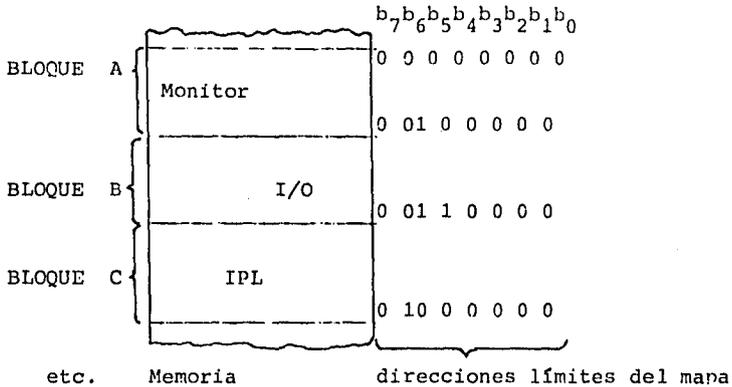
El método de paginación de memoria consiste en definir una sección de los bits más significativos de la dirección de memoria como indicador para las localidades correspondientes a las combinaciones de los bits menos significativos de dicha dirección, ésto es como una página de un libro, de ahí el nombre. En la figura IV.6.1 se ilustra lo anterior mediante un ejemplo:



**** = Valor constante en $b_7 b_6 b_5 b_4$

*** (*H) = Valor constante más uno en $b_7 b_6 b_5 b_4$

Por otra parte el método de mapeo de memoria consiste en considerar a la memoria como un mapa, en el cual se definen bloques funcionales, en los cuales no importa la página sino, las direcciones de inicio a fin de cada bloque. En la figura IV.6.2 se muestra con un ejemplo el método de mapeo de memoria:



Por último se puede considerar que existe una manipulación de la memoria en forma virtual lo cual puede dar origen a diferentes estructuras o maneras de configurar virtualmente los datos.

Entre las estructuras más importantes que se emplean se encuentran las pilas (stacks), las colas y las colas dobles. Las estructuras anteriores son básicamente listas lineales de datos sin embargo, la diferencia entre cada una de ellas radica en las políticas que se siguen para el almacenamiento y recuperación de los datos. Dentro de un stack la política fundamental es que el último dato en llegar viene a ser el primero en salir para ser procesado. Dentro de una cola por el contrario, el primer dato en llegar es el primer dato en salir para su procesamiento. Por su parte la cola doble viene a ser una combinación de políticas de una pila y una cola.

Es importante hacer notar que la mayoría de los microprocesadores cuentan con un manejo eficiente de pilas ya que son

de gran utilidad en el manejo de interrupciones.

IV.7 NORMAS DE COMUNICACION.

Para la mayoría de los sistemas o equipos que se fabrican (de cualquier tipo) se han desarrollado normas, en las cuales se dan las especificaciones con que deben contar los mencionados sistemas. Tales normas son de carácter internacional y se pueden tomar en cuenta al diseñar un sistema si se desea que exista cierta compatibilidad de este con otros ya disponibles en el mercado.

Existen normas para varias características de un sistema, aquí hablaremos sólo de las normas de comunicación.

Las normas de comunicación dan las especificaciones - que deben tener las interfases de un sistema para poder conectarse con algún otro dispositivo periférico u otra clase de equipo.

Entre varias de estas normas tenemos las siguientes:

Una de las normas que ha sido muy aceptada en la EIA (Electronics Industry Association) es la Standard RS-232C. Esta norma específica es la interfase entre dispositivos que transfieren datos (por ejemplo modems*) y equipos terminales (por ejemplo, una computadora y el dispositivo de entrada y salida). La interfase RS-232-C está constituida por 25 terminales de conexión las cuales se describen en la tabla (IV.7.1). Existen variaciones de esta norma con características más evolucionadas, y son la RS-422 y la RS-423.

La interfase RS-232 es usada comúnmente para terminales CRT (Pantallas con tubo de rayos catódicos) y modems. Esta norma está diseñada para la transmisión de datos en serie, a una distancia menor de 15 metros. Las interfases RS-422 y RS-423 están diseñadas para transmisión en serie a una distancia no mayor de 1000 metros. (12).

* MODEM: modulador-demodulador.

Name			
EIA	CCITT	Pin* no.	Function
AA	101	1	Protective ground
AB	102	7	Signal ground-common return
BA	103	2	Transmitted data
BB	104	3	Received data
CA	105	4	Request to send
CB	106	5	Clear to send
CC	107	6	Data set ready
CD	108.2	20	Data terminal ready
CE	125	22	Ring indicator
CF	109	8	Received line signal detector
CG	110	21	Signal quality detector
CH	111	23	Data signal rate selector (from DTE† to DCE‡)
CI	112	23	Data signal rate selector (from DCE‡ to DTE†)
DA	113	24	Transmitter signal element timing (DTE†)
DB	114	15	Transmitter signal element timing (DCE‡)
DD	115	17	Receiver signal element timing (DCE‡)
SBA	118	14	Secondary transmitted data
SBB	119	16	Secondary received data
SCA	120	19	Secondary request to send
SCB	121	13	Secondary clear to send
SCF	122	12	Secondary received line signal detector

*Pins 9 and 10 are used for testing purposes and pins 11, 18, and 25 are spare.

†Data terminal equipment.

‡Data communication equipment.

Tabla IV.7.1 Interfase RS-232-C

IEEE standard digital interfase for programable instrumentation (ANSI/IEEE: STD 488-1978)

Esta norma esta desarrollada para la conexión de instrumentos de laboratorio, tales como fuentes de señal, instrumentos de medición, etc. que puedan ser controlados digitalmente; - también se puede utilizar para otros dispositivos periféricos. - Esta norma define un canal de instrumentación que habilita la interconexión de 15 o más dispositivos.

La transferencia de datos se lleva a cabo con un formato bit-paralelo byte-serie. La velocidad de transmisión es de - 250 000 bytes/s. a una distancia de 20 m. Es posible hacer una transferencia de 1Mbyte/s si se hace esto a distancias cortas. - El canal esta formado por 8 líneas de datos y 8 líneas de control.

Con respecto a la comunicación de un procesador con otros equipos, como periféricos o memorias, etc., ésta se realiza por medio de señales que son compatibles a ambos dispositivos, - pero el caso es que dicha comunicación no se realiza directamente, sino que se hace a través de un canal(BUS), el cual se prefiere que esté especificado bajo alguna norma.

Entre algunos canales estandarizados se tienen los canales: LSI-11 Q BUS, IEEE488BUS referido antes, y S-100 BUS, que son muy usados.

Standard 100 (S-100 BUS)

Este canal es ampliamente usado por fabricantes de microcomputadoras. Está diseñado como interfase para conectar el módulo procesador con 20 o más dispositivos, entre ellos periféricos y memoria. Físicamente el S-100 está formado por un conjunto de 100 contactos montados en un tablero común y alambrados en paralelo. El S-100 originalmente fué diseñado para usarlo con microprocesadores 8080, pero muchos microprocesadores han sido adaptados a este estándar. (12)

Las señales de S-100 se agrupan en 4 categorías:

S-100 Suministro de energía:

+ 8 V	pines 1 y 51
+ 18 V	pin 2
- 18 V	pin* 52
Ground	pines 50 y 100

S-100 Señales de dirección:

A ₀ pin 79	A ₈ pin 84
A ₁ pin 80	A ₉ pin 34
A ₂ pin 81	A ₁₀ pin 37
A ₃ pin 31	A ₁₁ pin 87
A ₄ pin 30	A ₁₂ pin 33
A ₅ pin 29	A ₁₃ pin 85
A ₆ pin 82	A ₁₄ pin 86
A ₇ pin 83	A ₁₅ pin 32

* PIN: Terminal.

S-100 SEÑALES DE DATOS

D ₁₀ pin 95	DO ₀ pin 36
D ₁₁ pin 94	DO ₁ pin 35
D ₁₂ pin 41	DO ₂ pin 88
D ₁₃ pin 42	DO ₃ pin 89
D ₁₄ pin 91	DO ₄ pin 38
D ₁₅ pin 92	DO ₅ pin 39
D ₁₆ pin 93	DO ₆ pin 40
D ₁₇ pin 43	DO ₇ pin 90

S-100 SEÑALES DE RELOJ Y CONTROL

XRDY	pin 3	<u>SSW DSBL</u>	pin 53
<u>NMI</u>	" 12	<u>EXT CLR</u>	" 54
<u>STAT DSBL</u>	" 18	<u>MREQ</u>	" 65
<u>C/C - DSBL</u>	" 19	<u>RFSH</u>	" 66
UN PROTECT	" 20	MWRITE	" 68
<u>SINGLE STEP</u>	" 21	<u>PS</u>	" 69
<u>ADDR DSBL</u>	" 22	PROTECT	" 70
DO DSBL	" 23	RUN	" 71
∅ 2	" 24	pREADY	" 72
∅ 1	" 25	p $\overline{\text{INT}}$	" 73
p HLDA	" 26	p $\overline{\text{HOLD}}$	" 74
pWAIT	" 27	p $\overline{\text{RESET}}$	" 75
pINTE	" 28	p SYNC	" 76
sM1	" 44	p $\overline{\text{WR}}$	" 77
SOUT	" 45	p DBIN	" 78
sINP	" 46	s INTA	" 96
sMEMR	" 47	s $\overline{\text{WO}}$	" 97
sHLTA	" 48	4 NHZ	" 98
∅ CLOCK	" 49	<u>POC</u>	" 99

IV.8 CARACTERISTICAS DE MICROCOMPUTADORES COMERCIALES.

Como es fácil de suponer, debido al gran desarrollo que han tenido los componentes electrónicos relacionados con la compu tación, las características comerciales que presentan esta clase de sistemas son muy variadas, por lo cual nos referiremos única-mente a las condiciones más comunes encontradas entre diferentes fabricantes, tomando como referencia las microcomputadoras monotablilla orientadas para control. Las cuales especificaremos a continuación:

- Cuentan generalmente con la unidad central de proceso integra da en un circuito cuya longitud de palabra puede variar entre 4, 8, 16 y 32 bits.
- Es conveniente contar con diferentes modos de direccionami ento de la memoria principal.
- Se presentan frecuencias de oscilación del procesador, que varían desde 1 hasta 10 MHz
- Se recomienda ser compatibles con diferentes canales de com unicación de datos, tales como el S-100, IEEE 488, AIM, etc.
- Deben de poder manipular memoria tipo RAM, cuya capacidad varía desde 1 K byte hasta 64 K bytes. Construídos directamente en la tablilla.
- Deben poder manipular memoria tipo ROM, cuya capacidad varía desde 1 K byte hasta 128 K bytes. Construídos directamente en la tablilla.
- Deben ser capaces de manejar adecuadamente las interrupciones que se generen en el sistema ya sea mediante el procesado ro mismo o bien mediante un manejador de interrupciones.
- Deben contar con puertos que manejen la información en serie. Los más comunes son del tipo RS-232-C, pudiendo ser algún similar tal como el Z-80-S10 entre otros. El número de estos puertos varía desde 1 hasta 4, en los más comunes.
- Deben contar con puertos que manejen la información en paralelo; el standard más común viene a ser el RS-422-C, aunque existen similares tales como el Z-80-P10 y el MCM-PIA. El número de esta clase de puertos varía entre 1 y 8 en -

en los sistemas más comunes.

- Deben presentar la facilidad de contar con al menos un reloj multifase, que puede ser programable.
- Deben contar con la capacidad de poder instalarles diferentes dispositivos periféricos (los cuales serán tratados con mayor detalle en temas subsecuentes, así como mostrar facilidades para conectar circuitos convertidores - tanto de tipo A..D como D/A. Contando en algunas ocasiones con circuitos especializados encargados del manejo de periféricos.
- Deben presentar la facilidad de permitir la instalación de aislamientos optoelectrónicos en caso requerido.
- Deben presentar una alimentación de +₂ V de D.C. compatible con diferentes tecnologías tales como TTL (lógica de transistor-transistor., MOS, en todas sus familias, etc.
- Es conveniente contar con protección tanto en las entradas como las salidas contra condiciones de cortocircuito.
- Es conveniente contar con protecciones tanto en las entradas como en las salidas contra las condiciones de conexión accidental de señales de 120 volts de A.C.

Como ya se mencionó, las características anteriores vienen a ser las más comunes dentro de las microcomputadoras monota-blilla, sin embargo, la lista podría crecer en forma indefinida - ya que cada fabricante presenta su conjunto de características. - Dentro de los sistemas que presentan algunas de las características mostradas se encuentran: las diferentes versiones del MACSYM (50, 200 o 350) de la compañía "Analog Devices Inc"; los micro-sistemas modulares MVME 110-1 y MVME 110-2 de la compañía "Moto-rola Inc".; las computadores SLIM (81-260), SLIM II (83-230), - MICRO-COMPUTER (80-153-A y 80-208-A) de la compañía "John Bell - Engineering Inc.", entre otros muchos.

IV.9 BIBLIOGRAFIA.

- 1.- "Digital Computer Fundamentals". Thomas C. Bartee.
Ed. Mc.Graw-Hill Book Co. 3a. Edición. 1981
- 2.- "Electronics Engineers Handbook" Donald D. Fink.
Ed. Mc.Graw-Hill Book Co. 1a. Edición. 1975
- 3.- "Detección de Fallas Hardware por Medio de Técnicas -
Software" Tesis Profesional por Pablo Clemente Reyes,
Ernesto Alva Cruz Ruiz, Gabriel A. Méndez Botello y -
Gustavo G. Origel Coutiño. Facultad de Ingeniería.
U.N.A.M. Editado en 1978
- 4.- "Microcomputers/Microprocessors Hardware, Software and-
Applications" John L. Hibern y Paul M. Julich.
Ed. Prentice Hall Inc. Edición 1a., 1976
- 5.- "An Introduction to Computer Science. An Algorithmic A-
pproach", Jean-Paul Tremblay y Richard B. Bunt.
Ed. Mc.Graw-Hill Book Co. 2a. Edición, 1981
- 6.- "Operating Systems" Stuart E. Madnick y John J. Donovan.
Ed. Mc.Graw-Hill Book Co. 1a. Edición, 1974
- 7.- "Computer Organization" V.C. Hamacher, Z.G. Vranesic and
S.G. Zaky. Ed. Mc.Graw-Hill Book Co. 1a. Edición, 1978
- 8.- "Computer Architecture and Organization" John P. Hayes.
Ed. Mc.Graw-Hill Book Co. 1a. Edición, 1978
- 9.- "Z8000 Assembly Language Programming" Lance A. Leventhal,
Adam Osborne y Chuck Collins. Ed. Mc.Graw-Hill Book Co.
1a. Edición 1980
- 10.- "Operating Systems" Rick Cook. Revista Popular Compu-
ting. Agosto 1984. Vol. 3 No. 10. "Computerizing the -
23rd. Olympiad"
- 11.- "Modern Data Processing" Robert R. Arnold, Hardd C. Hill
y Aylmer V. Nichols. Ed. Wiley International. Edición 1978

- 12.- "Introduction to microprocessor system design"
Harry Garlond. Mc.Graw-Hill, 1979
- 13.- "Microprogramming. Principles and practices."
Samir S. Husson. Prentice Hall Inc. 1970
- 14.- "Introducción al área de computación". Gabriela Gómez,
Eumelia Mendoza, Guadalupe Quijano. Centro de Servicio
de Cómputo UNAM, 1978
- 15.- "Estructuras de Datos" Jorge I. Evan A. y Luis G. Cor-
dero B. Editado por Facultad de Ingeniería. División -
de Sistema de Universidad Abierta. UNAM. 1a. Ed. 1982
- 16.- "A Microprocessor Course" Mark E. Fohl. Ed. PBI.
Petrocelli Book, New York/Princeton. 1a. Edición 1979
- 17.- "Mini/Microcomputer". Hardware Design. George D. Kruff/
Winy N. Toy. Prentice-Hall, Inc. 1979.

C A P I T U L O VDISPOSITIVOS PERIFERICOS, CONVERTIDORES ANALOGICOS-DIGITALESY DIGITALES-ANALOGICOS E INTERFASES DE ALTO NIVEL.

- V.1 Dispositivos periféricos. Generalidades.
- V.2 Diferentes clases de dispositivos periféricos.
- V.3 Características de algunos dispositivos periféricos comerciales.
- V.4 Dispositivos convertidores. Generalidades.
- V.5 Características básicas de convertidores comerciales.
- V.6 Interfases de alto nivel de voltaje. Generalidades.
- V.7 Bibliografía.

V.1 DISPOSITIVOS PERIFERICOS.

GENERALIDADES.

Para resolver problemas o bien para procesar información mediante un sistema de cómputo, es lógico suponer que tanto los datos como las instrucciones deben de alguna manera poder ser comunicados a la máquina, por otra parte, la máquina debe entregar por algún medio los resultados obtenidos durante sus cómputos. Ha sido difícil "desarrollar dispositivos que operen con la misma rapidez con la que funciona un sistema de cómputo, sin embargo, existen ciertos equipos que permiten tanto la comunicación del medio con la computadora, independientemente del ta mano que sea, así como un funcionamiento más eficiente de ésta - (1); a esta clase de equipos se les conoce como dispositivos periféricos", los cuales se entiende que son unidades que laboran en conjunción con la computadora, pero no son parte de ella misma. (2)

Se pueden encontrar diferentes tipos de dispositivos, sin embargo, estos se pueden clasificar en dos grandes grupos - que son:

- a) Dispositivos periféricos de entrada: La finalidad de estos dispositivos es comunicar al medio exterior con el sistema de cómputo. Esto es, mediante ellos la computadora se entera de las circunstancias que la rodean, con el fin de poder procesar la información adecuadamente.
- b) Dispositivos periféricos de salida: Por su parte, el fin primordial de estos dispositivos es comunicar al sistema de cómputo con el medio exterior. Esta clase de dispositivos le sirven al sistema para hacer llegar al exterior los resultados del procesamiento de la información, pudiendo incluso, ejercer algún tipo.

Ejemplos de esta clase de dispositivos, así como una clasificación más detallada de diferentes periféricos serán tra tados en temas subsecuentes.

V.2 DIFERENTES CLASES DE DISPOSITIVOS PERIFERICOS.

Como ya se mencionó, existen dos grandes grupos dentro de los cuales pueden ser clasificados los diferentes dispositivos periféricos, no obstante ésto, queda más clara la idea mancada, si decimos que ejemplos de cada una de las dos categorías indicadas vienen a ser:

- a) Por parte de los dispositivos periféricos de entrada, - los teclados, las distintas unidades tanto de disco como de cinta, las lecturas (en sus diferentes modalidades), los teletipos, los convertidores, transductores, etc.
- b) Por su parte, refiriéndonos a los dispositivos periféricos de salida, se encuentran las diferentes clases de impresoras, las pantallas, las perforadoras, las distintas unidades tanto de cinta como de disco, los graficadores, los actuadores, etc.

Estos ejemplos sirven para mostrar tan solo algunos - cuantos de los diversos y muy variados dispositivos periféricos, sin embargo, podemos entender fácilmente que cada uno de estos - sistemas puede ser a su vez subdividido y clasificado de una manera más clara para su estudio tomando en cuenta sus características fundamentales, a continuación se presentan diferentes clasificaciones de esta clase de dispositivos, mostrando una breve explicación de su funcionamiento:

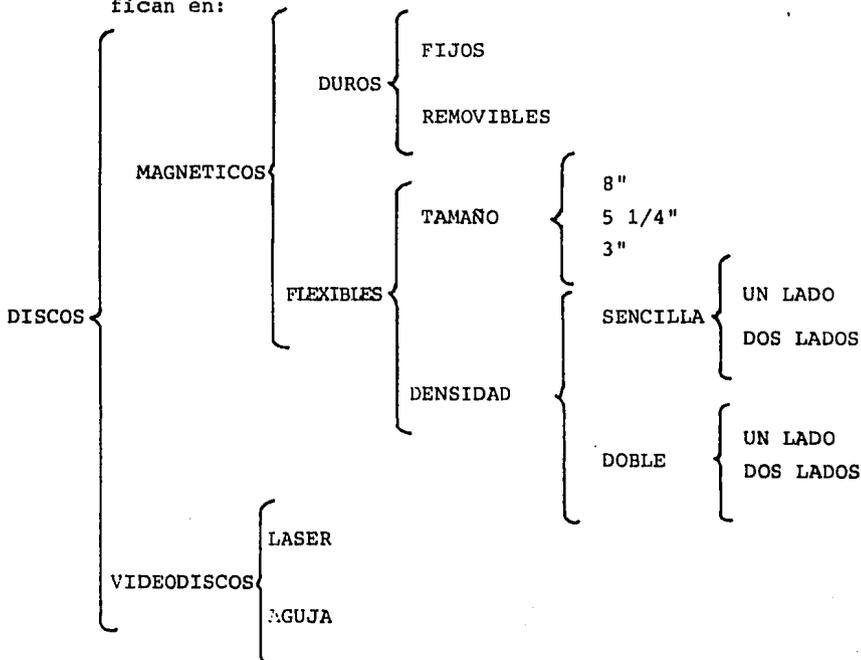
TECLADOS: Son dispositivos periféricos de entrada, que cuentan con una serie de botones, los cuales generan algún patrón binario correspondiente al carácter específico - al que están asociados. Existen comúnmente dos clases de teclados diferentes, atendiendo a dos orientaciones distintas. Dichas clases son:

- a) Teclado Hexadecimal: El cual cuenta con dieciséis teclas asociadas a los números enteros entre cero y nueve, además de las letras A, B, C, D, E y F. Este tipo de teclado se emplea cuando no son requeridas grandes cantidades de caracteres diferentes, por ejem-

plo al programar en ensamblador.

- b) Teclado "QWERTY": Esta clase de teclados es semejante al de una máquina de escribir, ya que las teclas corresponde en cuanto a posición y número de caracteres al de dichas máquinas. Son empleados cuando se requiere un número mayor de caracteres respecto a un teclado hexadecimal, por ejemplo en sistemas de cómputo que se programan en alto nivel.

UNIDADES DE DISCO: Como ya se mencionó, son unidades de almacenamiento temporal de datos correspondientes a parte de lo que se conoce como memoria secundaria. Basan su funcionamiento en retener la información ya sea por medios magnéticos o bien ópticos en elementos semejantes a los discos fonográficos. Dependiendo de su estructura se clasifican en:



UNIDADES LECTORAS: Son dispositivos periféricos de entrada, que le sirven al sistema para enterarse de las informaciones que va a procesar, puede pensarse que su funcionamiento es análogo al proceso de lectura que realiza el ser humano, de ahí su nombre. Las lecturas pueden ser clasificadas de acuerdo al cuadro sinóptico siguiente:

LECTORAS

OPTICAS: Basan su funcionamiento en la incidencia de haces de luz sobre alguna superficie especial en la cual se encuentra codificada en forma adecuada la información.

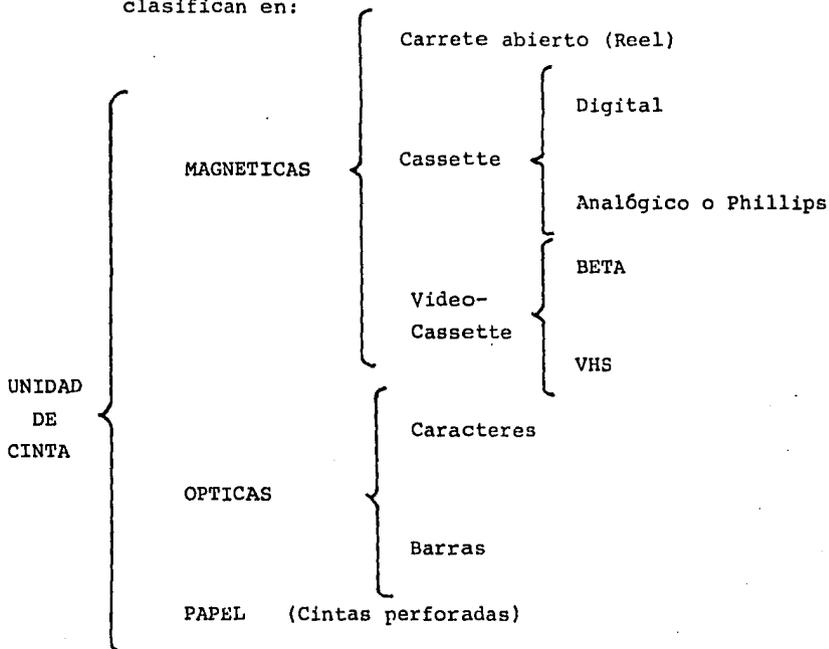
CINTA: Basan su funcionamiento con interpretar la información almacenadora en forma de campos magnéticos, en las cintas que se encuentran dentro de la unidad de cinta.

TARJETAS PERFORADAS: Su funcionamiento es similar al de las lecturas ópticas, ya que al hacer incidir haces luminosos sobre una cara de las tarjetas perforadas, son capaces de interpretar la información que se encuentra codificada en forma de puntos luminosos tomados en la otra cara de dicha tarjeta.

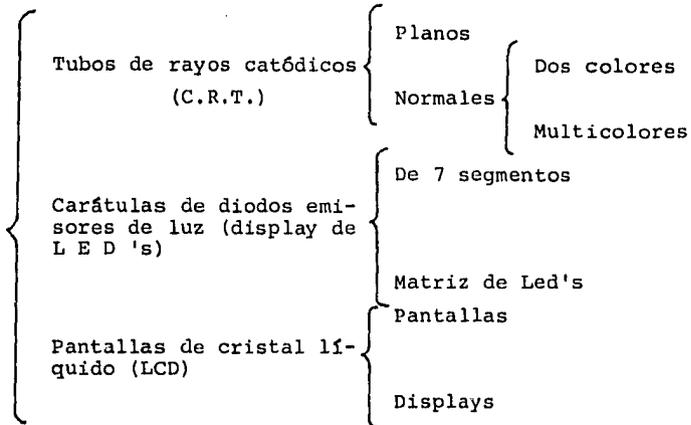
TARJETAS MAGNETICAS: Basan su funcionamiento en interpretar la información presente en forma de campos magnéticos depositados en bandas que se encuentran ubicadas en tarjetas plásticas con recubrimiento ferroso.

UNIDADES DE CINTA: Son unidades capaces de almacenar datos y se encuentran ubicadas, como ya se mencionó, dentro de lo que sería la memoria secundaria del sistema de cómputo. A diferencia de la unidad de disco, la unidad de cinta

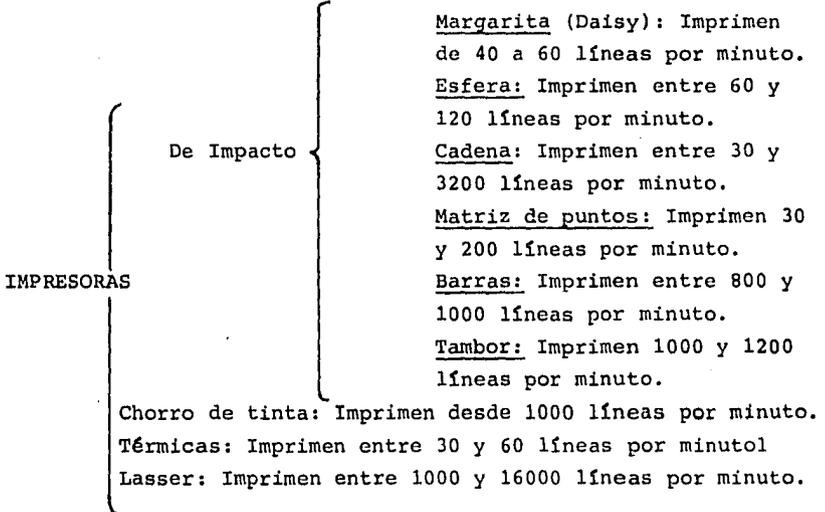
registra la información en tiras ya sea de papel o bien de fibras plásticas de gran longitud, éste tipo de dispositivos en sí es más económico que un disco, ya que su elaboración es más simple. Las unidades de cinta se clasifican en:



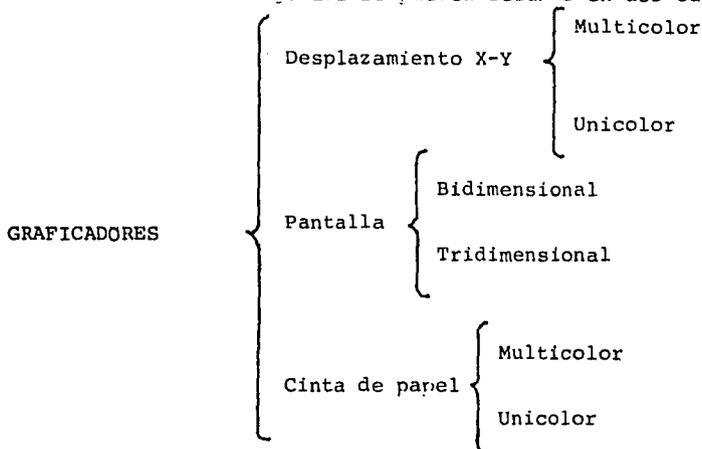
UNIDADES DE VIDEO: Son, en este caso, dispositivos periféricos de salida, capaces de mostrar en forma óptica los resultados de procesar la información dentro del sistema. Su función viene a ser únicamente desplegar datos en diferentes medios para dar aviso al usuario sobre todo el procesamiento de información. Las unidades de video se clasifican según el medio de crear las imágenes de los datos, de acuerdo al cuadro sinóptico siguiente:



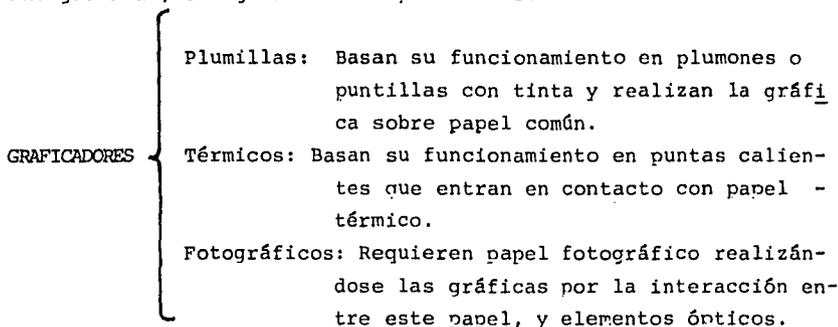
UNIDADES IMPRESORAS: Son, también dispositivos periféricos de salida, mediante los cuales el sistema de cómputo permite al usuario conocer en forma escrita, los resultados de la información procesada. Por su parte, las impresoras se agrupan de acuerdo al principio que emplean para realizar la escritura, que de forma implícita nos da también la velocidad de impresión. Una clasificación de estas unidades se muestra en el cuadro sinóptico siguiente:



GRAFICADORES: Son elementos que permiten la representación gráfica tanto de variables simples como de ecuaciones con varias variables; existen diferentes clases de graficadores, tomando en cuenta ya sea el medio en el que realizan la gráfica, o bien en que forma realizan ésta. Estas dos categorías se pueden resumir en dos cuadros:



Tomando en cuenta el medio que utilizan para realizar las gráficas, los graficadores pueden ser:



Por otra parte, como ya se mencionó tanto los transductores como los actuadores pueden ser considerados como dispositivos periféricos, los cuales han sido explicados durante los capítulos I y II de este estudio.

V.3 CARACTERISTICAS DE ALGUNOS DISPOSITIVOS PERIFERICOS COMERCIALES.

En temas anteriores se ha mencionado la existencia de un gran número de dispositivos periféricos, los cuales cuentan siempre con características propias de cada fabricante, sin embargo se ha podido efectuar una clasificación somera de ellos. - No obstante esto, debido al grado de sofisticación alcanzado, sería prácticamente imposible enlistar todas y cada una de las características de todos los periféricos disponibles en el mercado, - por lo cual, ejemplificaremos los tres casos más comunes de esta clase de dispositivos; dichos casos vienen a ser: una impresora, una terminal de video y una unidad de disco flexible de 5'4" - (floppy disk drive).

A continuación se proporcionan detalles técnicos de cada uno de estos tres casos.

A) IMPRESORA

Entre las diferentes clases de impresoras se encuentra que la modalidad que mejor se adapta a sistemas de cómputo pequeños, además de ser económica, viene a ser aquella que realiza la impresión en forma de matriz de puntos. Las características más comunes son:

- Impresión mediante matriz de agujas.
- Manejo de la información internamente mediante alguno de los códigos: ASCII, EBCDIC, ISO 646, DIN 66003
- Velocidad de impresión 200 líneas por minuto.
- Manejo de 64 caracteres diferentes en promedio.
- Representación de caracteres en la matriz mediante un arreglo de puntos de 5 x 7
- Formato de la línea: hasta 132 caracteres por línea.
- Espaciamiento entre caracteres: 2.54 mm
- Suministro de voltaje: 220/120 volts.
- Frecuencia de operación entre 50 y 60 Hz \pm 1%
- Temperatura de operación: entre 10 y 40°C
- Máxima distancia del CPU: 32 m en promedio sin MODEM's, mediante el uso de éstos, la distancia puede aumentar.
- Compatibilidad con circuitos de las familias lógicas TTL y MOS/LSI

Entre los dispositivos que presentan algunas de estas características se encuentran la unidad 3915 del sistema 300 de SIEMENS, las unidades P1351 y P1340 de la compañía TOSHIBA AMERICA INC. etc.

B) UNIDAD DE VIDEO (alfanumérica)

Entre las diferentes unidades de video encontradas, se pudo observar que la modalidad más común en sistemas pequeños viene a ser aquella que opera únicamente con dos colores además sin presentar una alta resolución en sus gráficas. A continuación se muestran algunas características comunes de esta clase de dispositivos.

- Generación de imágenes mediante un barrido continuo de la pantalla punto por punto.
- Desplegado simultáneo de hasta 1920 caracteres por imagen (24 líneas de 80 caracteres cada una)
- Dimensiones de la pantalla: 31 cm en la diagonal principal
- Representación de los caracteres en la pantalla mediante una matriz de 5 x 8 puntos por caracter.
- Refresco de las imágenes con rapidez de 50 imágenes/seg.
- Capacidad de manipular 127 caracteres diferentes (letras minúsculas, mayúsculas, números y caracteres especiales)
- Manipuleo de la información mediante alguno de los códigos: ASCII, EBCDIC, ISO646, DIN 66003, etc.
- Forma de transmisión de datos: Asmerona (mediante 1 bit al inicio, 7 bits de información, 1 bit de paridad, 1 o 2 bits de terminación) en serie mediante la tendencia duplex.
- Velocidad de transmisión: 110, 300, 1200, 2400, 4800, 9600 bits/segundo (en forma ajustable)
- Distancia máxima desde la unidad de proceso: 1 km (sin Modem's y mediante estos es limitada)
- Compatibilidad con circuitos de las familias lógicas: TTL MOS/LSI
- Fuente de suministro de voltaje: 220/120 volts.
- Frecuencia de alimentación entre 50 y 60 Hz \pm 1%

Entre los diferentes dispositivos que presentan algunas de estas características se encuentran la unidad alfanumérica 974 del sistema 00 de la compañía SIEMENS. Algunas de las unidades de la compañía TELEVIDEO tales como el modelo #10, etc.

C) UNIDADES DE DISCO FLEXIBLE CON DIMENSIONES DE 5 1/4" (Floppy disk drive)

Esta clase de unidades es la más popular entre los sistemas pequeños ya que se han dejado los discos duros, que tienen mayor capacidad, para aplicaciones en sistemas medianos o grandes. Nos referiremos únicamente a unidades normales y no a unidades - del tipo Winchester. Algunas de sus características son las siguientes:

- Medio de almacenamiento: disco o diskette en el "drive"
- Capacidad de cada diskette: 256 000 bytes.
- Número de superficies: 1
- Densidad: simple
- Número de pistas (tracks): 77
- Formato de los datos: por sector.
 - por pista: 26 sectores
 - por sector: 128 bytes
- Método de grabación: señales NRZ
- Densidad de bits: 3300 bits por pulgada (máximo)
- Densidad de la pista: 48 tracks por pulgada
- Velocidad de rotación: 360 revoluciones por minuto.
- Retardo promedio de rotación 83 milisegundos (ms)
- Tiempo promedio de posicionamiento: 243 ms
- De pista a pista: 6 ms
- Velocidad de transferencia de datos: Máximo 20 000 bytes/seg., por track.
- Capacidad de manipular la información mediante alguno de los códigos: ASCII, EBCDIC, etc.
- Suministro de voltaje 220/120 volts. $\pm 10\%$
- Frecuencia de suministro 50 a 60 Hz $\pm 1\%$

Entre las diferentes unidades de disco flexible encontradas y que presentan algunas de estas características se encuentra el modelo 3943 del sistema 300 de la compañía SIEMENS, los

sistemas Disk Maker I y II de la compañía NEW GENERATION SYSTEMS, etc.

V.4 DISPOSITIVOS CONVERTIDORES.

GENERALIDADES:

En la mayoría de los sistemas y equipos que se utilizan, se presenta frecuentemente el hecho de que la información que estos sistemas requieren no está disponible en la forma en que estos dispositivos la manejan, por lo cual es necesario contar con sistemas que conviertan la información al modo que se desea.

Los convertidores de señales analógicas a digitales (AD) y de señales digitales a analógicas (D/A) aparecen en el momento en que se comienzan a utilizar las computadoras y sistemas digitales en general, para procesar información.

El mundo humano es por naturaleza analógico, es decir, la mayoría de las señales que se tienen son continuas en el tiempo. Casi todos los transductores transforman las variables físicas a señales eléctricas, y se requerirá de un convertidor A/D si se quiere utilizar un sistema digital para procesar estas señales, y viceversa 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 se utilizará 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, y por medio de los cuales se puede ver qué convertidor es el que más cumple con nuestras necesidades.

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 se tarda en estabilizarse.
- Tiempo requerido para obtener la palabra digital (throughput rate) en convertidores A/D, para el caso de los convertidores D/A, es el tiempo que se tarda el sistema en deco-

dificar 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 ($\% \times \text{FSR}^*$)
- tiempo de apertura: Para los convertidores A/D. Es el tiempo que se tarda el dispositivo en obtener la palabra digital menos el tiempo de muestreo y retén (sample and hold). Es el tiempo que se tarda el interruptor de muestreo en estar completamente abierto (6).
- CMRR (razón de rechazo de modo común): Esta característica es para los convertidores A/D y nos indica que tanto rechaza el dispositivo a las señales de corriente directa.
- 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. El máximo error de cuantización es $\pm 1/2$ nivel de cuantización.
- número de canales de entrada: entradas analógicas. (para A/D).
- Velocidad de conversión de palabras: En conversiones A/D es el número de palabras digitales obtenidas por unidad de tiempo. En conversión D/A es el número de palabras decodificadas por unidad de tiempo.
- Características de entrada y salida: corrientes, voltajes, impedancias.
- Voltaje de referencia.
- rangos de temperatura.
- error por ruido.
- requerimientos de energía.
- corrientes de polarización.
- tiempo de conversión: tiempo total en el que se lleva a ca

* FSR: Full scale range

bo 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.
- Monotonicidad: es la propiedad que relaciona el rango de incremento en la salida dado un incremento en la entrada, cuando el convertidor está en un sobrerango.
- Error de offset: es el valor que entrega el convertidor cuando se tiene 0 volts de entrada.
- Linealidad: nos indica qué tanta diferencia se presenta en los niveles de voltaje idealmente estos deben ser iguales (para un convertidor A/D).

CONVERTIDOR A/D:

Los convertidores A/D se pueden clasificar bajo diferentes criterios. Uno de ellos es separar a los convertidores 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 no 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 (realimentados). En los convertidores de malla abierta una comparación directa es hecha 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. (3)

Existen varios sistemas de conversión A/D, pero vamos a considerar los más populares.

CONVERTIDOR A/D CON CONTADOR:

Este convertidor es del tipo realimentado. La señal de entrada llega a un 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 ha finalizado la conversión (4). (fig.V.4.1)

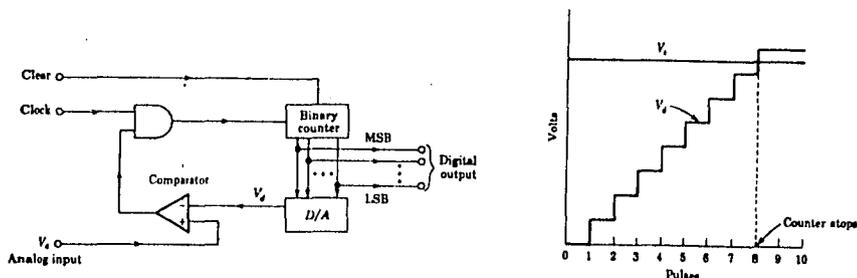


Fig. V.4.1 Convertidor A/D con contador.

CONVERTIDOR 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 vuelve a comparar las señales, y así sucesivamente hasta que las señales de entrada y la del convertidor D/A son iguales. (3) (fig. V.4.2)

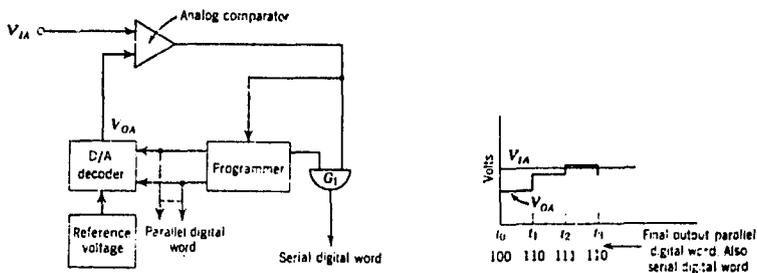


Fig. V.4.2 Convertidor A/D de aproximaciones sucesivas.

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. A cada comparador se le 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. (fig. V.4.3)

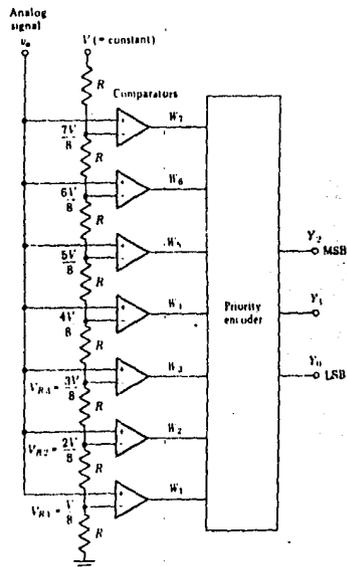


Fig. V.4.3 Convertidor A/D de comparadores en paralelo.

CONVERTIDORES D/A

El proceso utilizado por la mayoría de los convertidores D/A se basa en darle cierto peso (valor, magnitud) a cada uno de los bits, así el bit más significativo (MSB) tendrá el ma-

por peso, 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 peso que da 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. (fig. V.4.4)

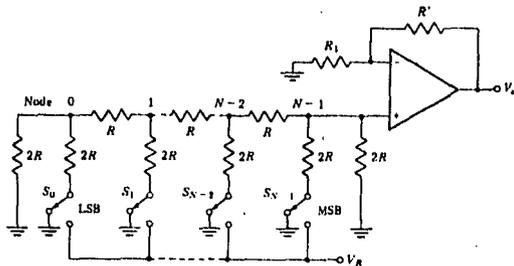


Fig. V.4.4 Convertidor D/A con red R-2R.

Los convertidores A/D son sistemas mas 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 retén, además de los de cuantizar y codificar.

V.5 CARACTERISTICAS BASICAS DE CONVERTIDORES COMERCIALES.

Existen comercialmente varios tipos de convertidores, - tanto A/D como D/A los cuales presentan características muy variadas y distintas. Se pueden obtener convertidores con resolucio--

nes de 7, 8, 12 bit, etc., así como 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 con propiedades que los hacen muy eficaces. También hay sistemas de conversión controlados con un microprocesador integrados en una sola tableta impresa.

Uno de los convertidores D/A muy usados 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: 85 nseg.
 disipación de potencia: 33m W C ± 14 V
 monotonicidad: 8 bits
 rango de suministro: ± 4.5 V a ± 18 V
 de energía.

El sistema MP21 fabricado por BURR-BROWN nos ofrece un convertidor A/D programable compatible con los microprocesadores 6800 de Motorola. Sus características básicas son las siguientes:

Resolución: 8 bits
 número de canales analógicos: 16 simples/8 diferenciales
 tiempo de conversión de una palabra: 40 sec/canal
 linealidad: $\pm 0.2\%$ de FSR
 error de cuantización: $\pm 1/2$ LSB
 rango de temperatura: 0°C a 70°C
 corriente de polarización: 100 nA @25°C
 200 nA @70°C

CMRR (para entradas diferenciales): 70db (de DC a 60 hz)

Como ejemplo de un sistema con ambos convertidores D/A y A/D juntos en un solo circuito, tenemos uno fabricado por Motorola. Este sistema utiliza dos convertidores A/D de alta velocidad de 7 bits y un bit de sobre rango, del tipo de comparadores paralelos (MC10315 y MC10317). Está constituido también por un -

convertidor D/A es de alta velocidad de 8 bits (MC10318). Este sistema tiene a la entrada un amplificador (Buffer) para protección, así como para aumentar el nivel de señales muy débiles. Los convertidores A/D pueden operar con una resolución de 7 bits o de 8 bits, cada uno de estos requiere de 2 fuentes de referencia de +5V y -5V.

El convertidor Ad563J de Analog Devices es un caso de convertidor D/A de 12 bits de resolución. Sus características básicas son:

Resolución: 12 bits
 Precisión: $\pm 1/2$ LSB
 tiempo de asentamiento: 1.2 Ms
 requerimientos de energía: +4.75 a 15.8 VDC, 15 mA
 monotonicidad: garantiza toda la escala
 linealidad: $\pm 1/2$ LSB
 rango de temperatura: 0 a 70°C
 salidas: unipolar 2.0 mA
 bipolar 1 mA

V.6 INTERFACES DE ALTO NIVEL DE VOLTAJE

Los dispositivos digitales compatibles con la familia lógica TTL manipulan generalmente corrientes eléctricas cercanas a los 16 miliamperes, sin embargo, poner en marcha un motor industrial, el cual requiere de 220 volts y 50 amperes puede presentar grandes problemas si se emplean únicamente esta clase de dispositivos de manera directa, por lo tanto se requiere de amplificación y adecuación de las señales manejadas, tanto a nivel de voltaje como en potencia disipada. Dicha adecuación tiene lugar en lo que se conoce como interfaces de alto nivel de potencia.

Existen diferentes clases de interfaces que van desde los antiguos relevadores hasta los modernos dispositivos de tecnología VFET. Entre las clases más comunes de interfaces, se pueden encontrar:

- 1.- Circuitos aisladores (Buffers)
- 2.- Transistores de potencia

- 3.- Dispositivos Darlington de potencia.
- 4.- Tiristores.
- 5.- Relevadores mecánicos.
- 6.- Relevadores de estado sólido
- 7.- Dispositivos VFET
- 8.- Servoamplificadores.
- 9.- Interruptores analógicos.

A continuación se explican brevemente cada uno de estos casos:

1.- Circuitos aisladores (Buffers)

El siguiente paso después de la salida normalizada de 16 en las compuertas TTL, viene a ser el circuito aislador denominado buffer, el cual viene empaquetado de manera similar tanto en forma como en distribución de salidas a las compuertas TTL, tal como la 7400, pudiendo ser empleados en la misma manera ya que las entradas se relacionan. La diferencia radica en las características de salida, ya que el voltaje y la corriente que se manejan pueden llegar a ser el triple, como máximo, de las salidas de bajo nivel en TTL.

El circuito 7438 es un ejemplo de ésta clase de interfases, cuenta con una característica de salida de colector abierto en lugar de la convencional de poste totémico. Por su parte este circuito puede manejar corrientes cercanas a 48 miliamperes, que es mayor que 16 en los circuitos TTL. (6).

2.- Transistores de potencia:

Por su parte, se han desarrollado diseños en base a transistores discretos, en los cuales se pueden manipular grandes niveles de corriente; teniéndose una exitosa aplicación en los dispositivos periféricos de control. Es necesario recordar que al variar la corriente de base del transistor, la corriente de colector a emisor se ve notablemente afectada, de acuerdo a las ecuaciones de Ebers-Moll.

Cuando se emplea al transistor como elemento interruptor, normalmente se realiza una conmutación entre las zonas de corte y saturación, actuando en cierta manera con una capacidad

amplificadora, ya que se tiene la corriente de salida como un producto de la corriente de entrada por un factor que se conoce como ganancia del transistor. Esto significa que si empleamos un transistor con ganancia pequeña, se requerirá de una corriente de entrada mayor para manipular grandes niveles de corriente. En la figura V.6.2.1 se puede apreciar la manera más simple de realizar la interfase de alto nivel mediante un transistor de potencia.

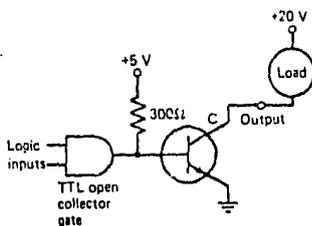


Fig. V.6.2.1 Interfase con transistor de potencia.

El modelo 2N2222 viene a ser un buen ejemplo de transistores con canal P (es NPN) diseñados para grandes velocidades de respuesta, mediana potencia de disipación y aplicaciones de amplificación de propósito general. El 2N2222 puede manipular hasta 800 miliamperes, teniéndose un voltaje de ruptura de 40 volts. Por otra parte, este transistor puede disipar hasta 1.8 watts si cuenta con un sistema de disipación adecuado. Además, a 500 miliamperes y 10 volts, el 2N2222 cuenta con una razón de transferencia de corriente estática de directa (amplificación) igual a 30. Por lo tanto, se requieren al menos 17 miliamperes (que es la salida normalizada en circuitos TTL) de corriente, para lograr manejar en forma de interruptor hasta 500. Lo anterior nos da una idea clara sobre las razones para emplear a estos transistores como in-

faces de alta potencia. (6)

3.- Dispositivos Darlington de potencia:

Existen tres soluciones para resolver el problema de - manipular las corrientes de transistores de regular potencia, que son: manejo de mayor corriente, mayor número de etapas amplificadoras y por último, contar con transistores que presenten una ganancia elevada. Un transistor de potencia tipo Darlington es un dispositivo que combina las dos últimas propiedades, siendo en la realidad dos transistores integrados en un solo encapsulado, presentando una estructura como la que se muestra en la figura V.5.3.1 En este tipo de configuración se presentan las características de alta importancia de entrada además de una gran ganancia.

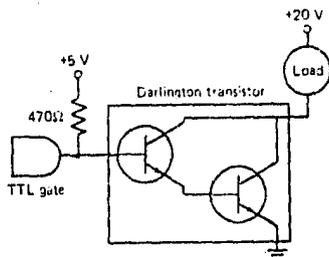


Fig. V.6.3.1 Interfase de potencia con transistor Darlington.

Ejemplos de este tipo de transistores viene a ser aquellos de la serie D40 de la compañía General Electric, los cuales están diseñados para ser usados como interfaces de circuitos integrados, etapas de salida en audio, substitución de relevadores, etc.

Por su parte, el modelo D40K1 es un transistor Darlington tipo NPN encapsulado en un paquete del tipo TO-202 (disipador de potencia). La diferencia de potencial nominal entre la unión colector-emisor es 30 volts, la potencia disipada es 10 watts, - siendo la ganancia mínima 10 000 (a 200 mA). Con una ganancia - de esta magnitud, aún los circuitos de tecnología CMOS pueden - controlar interruptores de alta potencia, ya que solo se requieren 20 microamperes para manipular 200 miliamperes. (6).

4.- Tiristores:

Los rectificadores controlados de silicio son dispositivos de estado sólido que pueden actuar como rectificadores cuando están encendidos y como circuitos de alta impedancia cuando están apagados.

Por otra parte, son dispositivos que cuentan con tres - terminales para contacto, con el ánodo correspondiendo al colector de un transistor, el cátodo al emisor y la compuerta a la base. A diferencia de los transistores los SCR no se diseñan para operar en la región activa por lo tanto no pueden emplearse como amplificadores lineales. Actuando únicamente como interruptores para tener encendido y apagado. Se requiere una corriente pequeña para encender el tiristor. El cociente entre la corriente de carga y la corriente de entrada (este cociente es similar a la ganancia del transistor) raramente es menor de 1000. Por lo tanto, una corriente de 50 miliamperes puede manipular 50 amperes o más. De lo anterior se creería que los tiristores podrían ser los interruptores ideales de alta potencia, sin embargo presentan una - característica importante: una vez que el dispositivo está encendido, no puede ser apagado aún si la corriente de la compuerta es removida. Esto se debe a la realimentación interna con que cuenta el dispositivo. Sin embargo, el dispositivo se apagará siempre y cuando la corriente de carga sea removida y después vuelva a aplicar.

Debido a esta característica los tiristores han tenido gran aplicación en circuitos interruptores de AC empleados en forma industrial. Las señales alternantes decaen a cero cada ciclo,

por lo tanto el apagado no presenta problemas. La figura V.6.4.1 muestra un circuito interruptor simple en base de un SCR. Mayores características de este tipo de dispositivos se pueden encontrar en el tema II.5.4 del estudio presente (6)

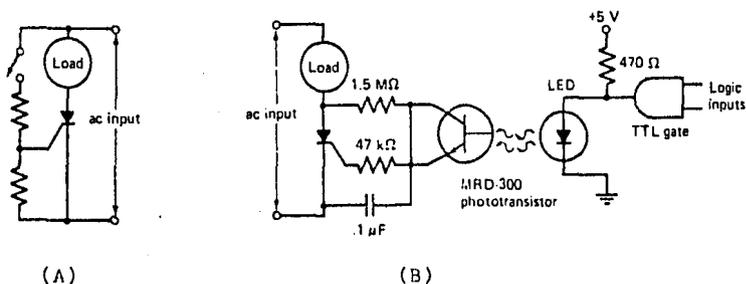


Fig. V.6.4.1 Interfase de potencia mediante :

(A) SCR, (B) SCR más acondicionamiento óptico.

5.- Relevadores mecánicos:

Los relevadores mecánicos se emplean en controles convencionales en los cuales pequeñas corrientes deben actuar sobre grandes cargas, no existiendo razón alguna por la cual no puedan ser controlados de manera digital. En los últimos años se han desarrollado relevadores comerciales que pueden ser manipulados directamente por circuitos electrónicos.

Los relevadores de vástagos consisten de dos vástagos magnéticos que entran en contacto, uno con otro, cuando son expuestos a un campo magnético, usualmente requieren poca corriente de control. El modelo 1A6AH de la compañía Electronic Applications Co. por ejemplo, tiene una resistencia de armadura de 380 ohms pudiendo ser manipulado por un voltaje de entrada de +5 volts D.C. Requiriéndose tan solo una corriente de 13 miliamperes para activarlo.

Los contactos de los relevadores de vástagos pueden operar desde 500 miliamperes hasta decenas de amperes dependiendo del modelo.

El mayor problema de los relevadores de vástagos viene

a ser el arco de contacto debido a que se emplean diminutos resor-
tes para separar los contactos y si se presentan pequeños aumen-
tos en dicho arco provocan que los vástagos se unan nuevamente. -
Al agregar un diodo del tipo Zener se ve reducido grandemente es-
te problema, en la figura V.6.5.1 se puede apreciar un circuito -
que resuelve este problema.

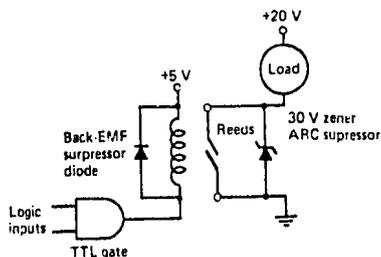


Fig. V.6.5.1 Interfase de potencia mediante relevador (con supresor de arcos).

Se cuenta con relevadores convencionales encapsulados en forma miniaturizada. Los relevadores de la serie Teledyne - TO-5 son un buen ejemplo de esta clase de dispositivos.

Es importante recordar que cuando se interconectan relevadores mecánicos y sistemas digitalizados los primeros tienen tiempos de respuesta mucho mayores que los segundos, por lo tanto, en un sistema digital, si es de computo, se requiere introducir rutinas de retardo, con el fin de adecuar todos los tiempos - de interacción. (6)

6.- Relevadores de estado sólido:

Como se mencionó en el tema II.5.2 existen diferentes clases de relevadores, entre los que se encuentran los del tipo de estado sólido, los cuales vienen a ser un reemplazo directo,

en un solo empaquetado, de algunos relevadores mecánicos. El aislamiento total entre la entrada y la salida (que es una característica importante en los relevadores mecánicos) se logra mediante acoplamientos ópticos mediante fotodiodos y fototransistores.

El empleo de una circuitería de entrada adecuada permite encender el relevador al aplicar los voltajes adecuados, sin embargo, a diferencia de los dispositivos mecánicos, no existe interferencia de efectos inductivos ya que no son empleados ningún tipo de devanados, lo cual es una ventaja muy importante.

Ejemplos de esta clase de dispositivos se encuentran en la serie 501 de la compañía North American Philips; los cuales consisten en relevadores de estado sólido encapsulados en pequeños módulos con dos entradas y dos salidas. El voltaje de control en las entradas es típicamente + 5 volts de D.C. a 7 miliamperes. Por su parte, las salidas pueden controlar directamente señales alternantes de 115 volts pico a pico y corrientes hasta de 2 amperes. El tiempo de encendido es de 8 milisegundos (ms) mientras que el de apagado viene a ser 32 ms. Además, este tipo de relevadores pueden ser montados directamente en el circuito impreso sin requerir un disipador adicional aún a plena carga. (6)'

7.- Dispositivos VFET:

Los transistores de efecto de campo (FET's) siempre han ofrecido buenas características como interruptores dando lugar a que las tecnologías MOS (Metal Oxide Slide) los tomen como base, sin embargo, no fue sino hasta la mitad de la década del 70 que este tipo de dispositivos pudo manipular niveles medios de potencia. Con el advenimiento de la tecnología VMOS (la cual tiene lugar en dispositivos del tipo MOS pero que emplean el canal de semiconductor que está construido en forma de V) transistores que podían manejar niveles de potencia tanto medios como altos, salieron al mercado. Algunas de las características de los dispositivos VMOS tienen bastante importancia, entre las cuales podemos encontrar: alta frecuencia de operación, pequeña corriente de entrada, y por último la posibilidad de apagarlos a voluntad (a diferencia de los tiristores que solo podían ser encendidos).

El modelo Siliconix VN84GA es un ejemplo de los transistores de potencia VMOSFET. Este dispositivo puede disipar 80 - watts a bajas frecuencias y 50 watts a 30 MHz. Por otra parte, - se puede controlar una corriente de 12.5 amperes. En la figura V.6.7.1 se puede apreciar el control de un motor empleando un dispositivo VMOS de baja potencia VN66AF. (6)

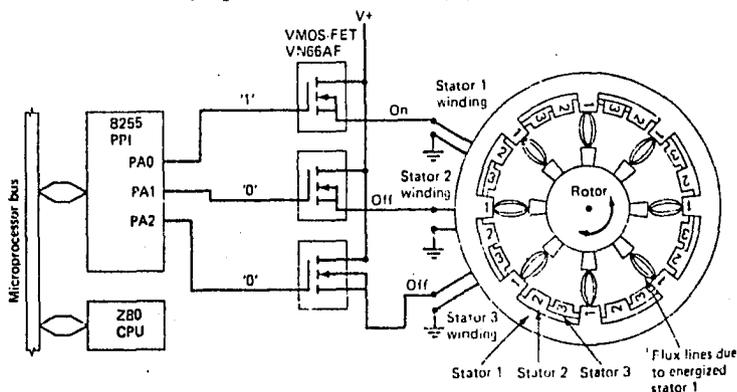


Fig. V.6.7.1 Control de motor de pasos con transistores VMOS.

8.- Servoamplificadores.

Existen ocasiones en que se requiere manipular una corriente o bien un voltaje analógico mayor del que puede ofrecer un simple convertidor Digital-Analógico (D/A). Ninguno de los dispositivos hasta ahora expuestos pueden proporcionar el apoyo requerido, ya que se tienen condiciones más complejas que simplemente un encendido o apagado de la señal. El amplificador del D.C. O también conocido como servo-amplificador está diseñado para llenar este hueco en los circuitos de control.

Los servoamplificadores son simplemente amplificadores de señales de D.C. que aumentan en forma proporcional un voltaje de entrada.

Los tipos más comunes de servoamplificadores vienen a ser los amplificadores operacionales que se encuentran en un solo circuito integrado y que pueden manipular alta potencia que cuentan con una salida o bien con etapas de transistores con salidas complementarias. (6)

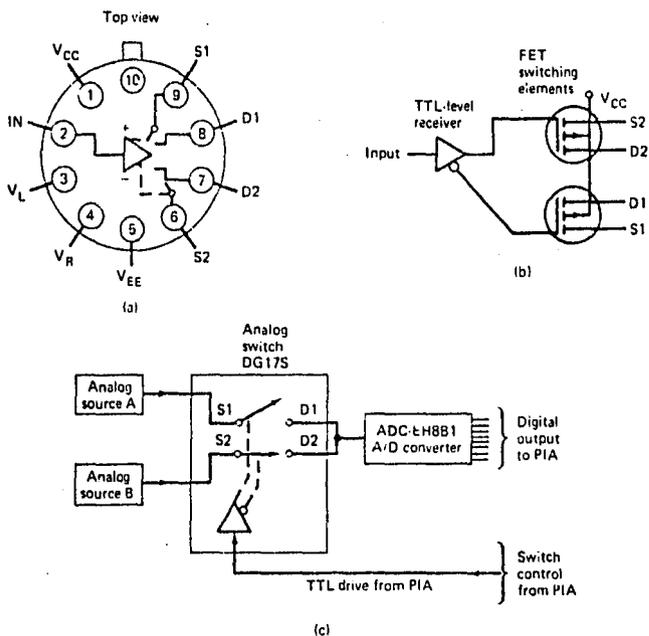
9.- Interruptores analógicos:

Las señales con forma de onda digital pueden ser manipuladas de una manera simple empleando un elemento lógico de multiplexaje. Dicho elemento es conocido como multiplexor digital, el cual reúne la señal apropiada de selección y la señal de los datos generando como respuesta una salida digital "perfecta". Como consecuencia de ser un circuito digital, no se pierden bits de datos. Sin embargo, el multiplexaje de señales analógicas no es tan fácil como el de señales digitales, ya que se pueden introducir ruido y distorsión por el elemento interruptor analógico, por lo tanto, se han realizado grandes esfuerzos para producir interruptores analógicos lineales que provoquen pequeñas distorsiones.

Por su parte, uno de los mejores interruptores analógicos viene a ser el relevador mecánico. Las señales analógicas que van desde bajas frecuencias hasta radio frecuencias pueden circular por sus contactos con poco ruido y virtualmente sin distorsión, por otra parte presentan el inconveniente de operar a bajas velocidades lo cual limita grandemente sus aplicaciones.

Los interruptores analógicos de estado sólido se construyen tomando como base las características de interrupción de los transistores del tipo FET, ya que presentan una alta impedancia de entrada cuando están apagados o bien, se comportan como una resistencia altamente lineal cuando se encuentran encendidos.

El modelo Siliconis DG 175 es un buen ejemplo de un interruptor analógico con canal P, presentando las ventajas de un dispositivo MOSFET. Dicho interruptor realiza la función de un dispositivo de un polo-dos tiros. En la figura V.6.9.1 se puede apreciar el diagrama del DG 175, con algunas de sus características. (6).



Siliconix DG175 analog switch. (a) Package and function. (b) Block diagram. (c) Typical application in A/D input selector.

Fig. V.6.9.1 Interruptor analógico de estado sólido.

V.7 B I B L I O G R A F I A .

- 1.- "Digital Computer Fundamentals" Thomas C. Bartee
Ed. Mc Graw Hill Book Co. 5a. Edición, 1978
- 2.- "Modern Data Processing" Robert R. Arnold, Harold C.
Hill y Aytmer V. Nichols. Ed. Wiley International.
Edición 1978
- 3.- "Analog to Digital/Digital to Analog Conversion
Technique" David F. Hoeschele Jr. Edit. John Wiley
an Sons. 1968
- 4.- Microelectronics. Digital and Analog Circuits and
Systems. Jacob Millman. Mc. Graw Hill. 1979
- 5.- Amplificadores operacionales. Gene E. Tobey
Edit. Diana 1982.
- 6.- Microcomputer Interfacing. Bruce A. Artwick
Edit. Prentice Hall. 1980

CAPITULO VI

DISEÑO DE LA MICROCOMPUTADORA

- VI.1 Antecedentes de diseño de la micro-computadora.
- VI.2 Limitantes del diseño.
- VI.3 Elementos internos propios del sistema.
- VI.4 Diseño físico de la microcomputadora.
- VI.5 Bibliografía.

VI.1 ANTECEDENTES DEL DISEÑO DE LA MICROCOMPUTADORA.

Con el fin de establecer los antecedentes necesarios para el diseño de la microcomputadora, es necesario recordar las diferentes características que presentan tanto los sistemas de control, así como algunas clases de microcomputadoras. Dichas características fueron enunciadas en los temas III.8 y IV.8 del presente estudio, sin embargo, a continuación se presenta un breve resumen de las diferentes capacidades que son deseables en un microsistema de cómputo orientado para el control de procesos industriales.

- 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 presentan frecuencias de oscilación del procesador, que varían de 1 a 12 MHz.
- Posibilidad de manipular dentro de la memoria principal aquella del tipo RAM cuya longitud puede variar entre 1 y 64 kilobytes. En estos casos son de estado sólido.
- 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 previamente para ser procesadas por el sistema. El rango de voltajes a la salida del convertidor deberá ser entre 0 y +5 volts, con el fin de ser compatible con los niveles de las señales internas del sistema.
- La resolución de los convertidores podrá variar entre 8 y 16 bits.

- Es conveniente contar con puertos que manejen la información en paralelo, que puedan manipular entre 1 y 16 bits ya sean unidireccionales o bidireccionales. El número de puertos varía entre 1 y 8 generalmente.
- Es conveniente contar con puertos que manejen la información en serie, pudiendo llegar a ser compatibles con diferentes estándares de comunicación. El número de estos puertos varía entre 1 y 8, siendo generalmente 2 lo que se provee en el sistema.
- Es conveniente contar dentro del sistema con la presencia de un cronómetro programable que comúnmente se denomina "Timer".
- Se debe proveer un suministro eléctrico adecuado, de + 5 volts, de D.C., en la mayoría de los casos, tomando en cuenta que en ocasiones algunos dispositivos requieren de un suministro adicional de + 12 V, + 24 V y + 5 V. 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, en la mayoría de los casos se conoce 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 aparte del sistema principal, esto es, se pueden diseñar como interfaces adicionales de la microcomputadora.

Por otra parte, como es fácil de suponer debido al gran desarrollo que se ha experimentado dentro de la electrónica, existen en forma comercial diferentes componentes integrados, altamente especializados, que realizan diferentes funciones entre las cuales pueden quedar comprendidas algunas de las capacidades mencionadas en el resumen anterior.

Después de efectuar una análisis sobre las características presentes en los componentes comerciales producidos por diferentes fabricantes, se llegó a la conclusión que aquel que cuenta,

con la línea de productos más versátil, que además se puede apegar de manera fácil a las condiciones antes estipuladas, viene a ser MOTOROLA INC.. Debido a lo anterior, tomaremos como base para efectuar nuestro diseño al microprocesador MC 68000 LB y toda la familia de dispositivos compatibles con éste. Sin embargo, aún limitándonos a un solo fabricantes, la lista de elementos que este produce viene a ser muy extensa, por lo cual, tomando nuevamente como referencia el resumen anterior, en la tabla VI.1 se proporciona un listado con diferentes elementos (circuitos integrados) que a nuestro parecer satisfacen de la mejor manera posible algunas de las características ya citadas con anterioridad. Es importante hacer notar que solo se enuncian los circuitos cuya complejidad es elevada y que servirán para desarrollar el diseño, sin tomar en cuenta todos aquellos que realizan funciones menos complejas tales como oscilación, apoyo en la lógica de decodificación, etc., los cuales serán tratados en temas subsecuentes.

T A B L A VI.1

Número de Dispositivo	Descripción
MC 68000 LB	Microprocesador de 16 bits.
MC 68230 LB	Interface paralelo/Cronómetro (timer)
MC 6850	Interface adaptadora de comunicación asíncrona.
MCM 68766	Memoria únicamente de lectura, borrrable con luz ultravioleta (UVEPROM)
MCM 65116	Memoria de lectura y escritura, del tipo estático. (SRAM)

Dentro del desarrollo de los siguientes temas se explicará con más detalle cada uno de estos elementos, así como se brindarán algunas de sus características de operación.

VI.2 LIMITANTES DE DISEÑO

El propósito de esta sección no se reduce únicamente a

estipular las condiciones limitantes propias del diseño de la microcomputadora, sino por el contrario, se pretende fundamentar las causas que dan origen a dichas condiciones, lo cual se logra al analizar brevemente diferentes temas ya tratados durante el estudio presente.

Mediante los temas I.5 y I.6 del capítulo I se llegó a la conclusión de que las señales analógicas de entrada que deben ser capaces de procesarse dentro de este sistema de cómputo, deben presentar fluctuaciones de voltaje entre 0 y + 5 Volts como máximo. Por otra parte, durante los temas II.5 y II.6 del capítulo II se pudo apreciar que el valor máximo del voltaje a la salida del sistema debe ser + 5 volts, ya que se tomó este valor como referencia para ser adecuado a los niveles de señal de los transductores. Al efectuar un análisis de los diferentes sistemas de control existentes mediante el capítulo III se llegó a la conclusión de que estos pueden tener una complejidad elevada por lo cual nos limitaríamos a especificar un sistema configurado en una arquitectura integral con un procesamiento digital de la información. Tomando como referencia todo lo que hasta ahora se ha estipulado junto con los temas IV.2, IV.6 y IV.8 del capítulo IV se llega a la conclusión de que nuestro sistema de control digital estará constituido por una microcomputadora monotabla orientada para el procesamiento en línea y que cuente con una arquitectura interna del tipo de dos canales. Es importante hacer notar lo siguiente: las señales que ingresarán al sistema son fundamentalmente analógicas, las cuales serán procesadas en forma digital obteniéndose resultados numéricos que serán convertidos nuevamente a una respuesta analógica, lo anterior nos conduce a considerar de gran importancia en la microcomputadora la existencia de dispositivos convertidores tanto analógicos-digitales como digitales-analógicos, los cuales fueron especificados en el desarrollo del tema V.5 del capítulo V, presentando como características fundamentales una resolución mayor o igual a 8 bits, siendo de preferencia de 12, con un tiempo de conversión entre 70 nS y 40 MS y un voltaje máximo de salida igual a +5 volts. Por otra parte, mediante los temas V.2 y V.5 desarro-

llados en el capítulo V se pudo apreciar la conveniencia, por parte del sistema, de contar con puertos en serie que pueden manipular información que sea compatible con la manera en que operan diferentes dispositivos periféricos; así como puertos en paralelo para el intercambio de datos entre la microcomputadora y los dispositivos convertidores en forma directa. Por último, en el tema inmediato anterior referente a los antecedentes de diseño se mencionan entre otros detalles de la memoria a emplear su tipo, ya sea EPROM o bien del tipo RAM de preferencia estática, así como la cantidad a emplear.

Un factor importante que no debe pasar inadvertido dentro de cualquier proyecto es el económico, ya que se pueden lograr diseños muy sofisticados con costos de fabricación demasiado altos, lo cual redundaría en la imposibilidad económica y no técnica de su elaboración; debido a esta razón siempre que se desarrolle cualquier prototipo de diseño es conveniente procurar lograr la optimización en el aprovechamiento tanto de los componentes a emplear, así como en el espacio, tiempo y recursos destinados al proyecto en estudio.

Tomando en cuenta todos los factores y condiciones que hasta ahora se han señalado, podemos estipular como limitantes de nuestro diseño las siguientes propuestas:

- La unidad central de proceso será única dentro de toda la estructura interna de la microcomputadora, siendo como ya se mencionó, el modelo MC 68000 L 8 que cuenta con una longitud de palabra igual a 16 bits.
- Los puertos encargados de la comunicación en serie serán del tipo asíncrono, contando el sistema con dos de ellos para lograr una mayor versatilidad. Los circuitos a emplear serán del modelo MC 6850.
- Debido a la necesidad de procesar señales del tipo analógico, el sistema deberá contar al menos con un canal para conversión analógico-digital (A/D) y otro para digital-analógico (D/A).
- Ya que se cuenta con la presencia de convertidores A/D y D/A se requiere la utilización de al menos dos puertos -

que manejen la información en paralelo, de 8 bits cada uno, dentro de la arquitectura de entrada-salida.

- Como esta microcomputadora cuenta con una orientación para el control digital de procesos, es conveniente y a la vez necesaria la presencia de un cronómetro programable, el cual pueda auxiliar al usuario del sistema en la medición del tiempo de algunas tareas que se deban ejecutar dentro del algoritmo de control.
- Tomando en cuenta las dos últimas propuestas, así como el factor económico y la disponibilidad de espacio, se empleará el circuito MC 68230L8 fabricado por Motorola Inc., el cual resuelve ambos problemas simultáneamente.
- En virtud de que se emplearán diferentes datos para el procesamiento de la información, el sistema deberá contar con memoria principal del tipo RAM estática ya instalada, en una magnitud inicial igual a 4 kilobytes de 8 bits cada uno pudiendo expandirse al doble en caso de requerirlo así el usuario. Los circuitos a emplear serán del tipo MCM 65116 SRAM.
- El sistema de utilización de recursos será del tipo monitor, el cual deberá radicar en memoria principal del tipo EPROM, proporcionándose en forma inicialmente instalada 16 kilobytes de 8 bits cada uno con posibilidad de duplicarse en caso de requerirlo así el usuario. Los circuitos a emplear serán del tipo MCM 68766 UVEPROM.
- Como característica fundamental del sistema monitor será el contener al programa que alberga al algoritmo de control, el cual será propio de cada usuario y de cada aplicación.

Las características de cada uno de los dispositivos hasta ahora descritos, así como la manera en que se resuelven cada una de las propuestas aquí efectuadas serán temas a tratar en secciones posteriores de este capítulo.

VI.3 ELEMENTOS INTERNOS PROPIOS DEL SISTEMA.

A continuación se presenta una descripción con un poco más de detalle, de los circuitos y subsistemas mencionados - en la sección VI.2

VI.3.1 PROCESADOR MC 68000L8

Se va a utilizar como unidad de proceso de la microcomputadora al microprocesador MCM 68000 fabricado por Motorola Inc. el cual es un circuito de 16 bits de reciente aparición. Los motivos por los que se decidió a usar un microprocesador de 16 - bits y particularmente el MCM 68000 fueron fundamentalmente las cualidades que presenta este dispositivo, y el hecho de aplicar en el diseño nuevas tecnologías.

El MCM 68000 es un microprocesador que posee capacidades y características más desarrolladas que en otros sistemas de 16 bits, las cuales lo hacen ser un microprocesador muy poderoso.

A continuación se dará una breve exposición de algunas de las características del MCM 68000 para dar con esto una visión general acerca de este circuito.

El MCM 68000 está fabricado con tecnología HMOS canal N, y está estructurado en un paquete de 64 terminales. Solo requiere de una fuente de 5 volts y todas sus señales son compatibles con niveles TTL. El mínimo tiempo de ejecución de sus instrucciones es de 4 periodos de reloj y el máximo es de 158 periodos.

Este microprocesador ofrece 17 registros de 32 bits, además de un contador de programa de 32 bits y un registro de estado (estatus) de 16 bits. Los primeros ocho registros son registros de datos los cuales se pueden emplear para operaciones en bytes (8 bits), palabras (16 bits), y palabras largas (32 bits). Los otros 7 registros son utilizados para direcciones y se pueden realizar operaciones con palabras o palabras largas. Estos 7 registros junto con el apuntador de stack se pueden emplear también como apuntadores en software y como registros base. Los -

17 registros se pueden utilizar como registros índices.

El registro de estado de 16 bits está dividido en dos bytes; el byte de sistema y byte de usuario. El conjunto de bits que constituyen este registro se pueden ver en la figura - VI.3.1.

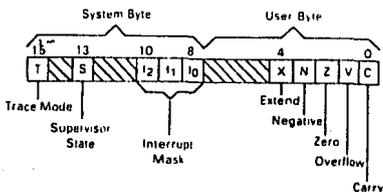


Fig. VI.3.1 Configuración del registro de estado (PSW)

El bit de acarreo (c) es "1" si se presenta un acarreo en el bit más significativo en una operación de adición, o si se requiere de un bit prestado durante una operación de sustracción. El estado del bit de acarreo también se modifica con ciertas instrucciones de corrimientos y rotaciones.

El bit de sobre flujo (v) indica el resultado de una operación no se puede representar en el operando que se especificó.

El bit de cero (Z) indica cuando el resultado de una operación es cero.

El bit de negativo (N) es equivalente al bit de signo de otros microprocesadores. El bit N es igual al valor del bit

mas significativo después de realizar alguna operación aritmética.

El bit de extensión (X) se usa en operaciones aritméticas con multiprecisión.

Los bits 5, 6 y 7 en el byte del usuario normalmente no se usan y siempre son cero.

Los bits 8, 9, 10 en el byte del sistema forman la mascarilla de interrupciones.

El bit 13 del registro de estado es el bit "S" que especifica el modo en que está operando el microprocesador.

El bit 15 del registro es el bit "T". Si este bit es "0" entonces el MCM 68000 está operando normalmente. Si este bit es "1" el microprocesador está operando en un modo (trace-mode) equivalente a un modo paso por paso implementado en hardware, pero este está implementado en software.

El MCM 68000 tiene un canal de direccionamiento de 24 bits, el cual puede proporcionar un rango de direccionamiento mayor de los 16 megabytes. Con esta capacidad de direccionamiento y un sistema de manejo de memoria adecuado se pueden llegar a realizar programas muy extensos sin necesidad de recurrir a técnicas de paginación que consumen mucho tiempo.

Físicamente el MCM 68000 tiene 23 líneas de direccionamiento (A1...A23), el bit A0 es manejado internamente para generar 2 señales de control, las cuales determinan cual de los bytes que constituyen el canal de datos va a ser manipulado.

El procesador maneja cinco tipos de datos, los cuales se les denomina como sigue:

BITS		
Dígitos	BCD	(4 bits)
Bytes		(8bits)
Palabras		(16 bits)
Palabras largas		(32 bits)

El MCM 68000 se programa por medio de un conjunto de 56 instrucciones, las cuales combinándolas con los 14 modos de direccionamiento con que cuenta este circuito y con los 5 tipos

de datos se pueden llegar a tener más de 1000 instrucciones. En las tablas se tienen los 14 modos de direccionamiento y el conjunto de instrucciones respectivamente.

Una característica importante de mencionar de este microprocesador es que éste ha sido desarrollado a través de una lógica microprogramada, por lo que se podría modificar su funcionamiento según más convenga al usuario. Algo también de bastante importancia en el MCM 68000 es que este empalma el atrapado (fetching) de cada código de instrucción con la decodificación y ejecución de las 2 instrucciones precedentes produciendo así un efecto de proceso en línea (pipe line).

El MCM 68000 puede ser utilizado de dos modos diferentes, los cuales son el modo supervisor y el modo usuario. La operación en alguno de estos modos la indica el bit S del registro de estado. El modo supervisor es usado normalmente por el software del sistema. El modo usuario es utilizado para programas de aplicación. Cada uno de los modos tienen su propio apuntador de stack.

El MCM 68000 tiene disponibles 7 niveles de interrupción. El nivel de interrupción es de codificado a través de las tres terminales que el microprocesador tiene para esta funcción. El nivel de interrupción 7 es el de más alta prioridad, y este no se puede mascarillar. El nivel 0 es un estado en el que no se puede solicitar interrupción. Los niveles del 1 al 6 pueden ser mascarillados. Los bits 8, 9 y 20 del registro de estatus indican como se dijo anteriormente si existe alguna mascarilla para cierto nivel de interrupción. Con este sistema de interrupciones y con cadenas de prioridad formadas externamente se puede tener una comunicación con periféricos ilimitada.

En cuanto a la organitación de la memoria del MCM68000, cada byte de cada palabra se direcciona individualmente, teniéndose una dirección par para el byte más significativo y una dirección non para el byte menos significativo. La dirección par o non es determinada por el bit de dirección Ao, el cual produce las señales de control UDS y LDS las cuales habilitan la memoria par y non respectivamente. Por ejemplo si se va a almace

nar una palabra de información empezando en las primeras localidades de memoria, se tendrá pues que el byte mas significativo - se guarda en la localidad que tiene la dirección \$ 000 000 y el byte menos significativo en la dirección \$ 000 001 teniéndose - así la palabra \$ 000 000 almacenada físicamente en las primeras localidades de la memoria par y la memoria non.

Como ya se mencionó anteriormente el MCM 68000 tiene un conjunto de 56 instrucciones, el cual constituye el conjunto de herramientas con las funciones necesarias para realizar las - siguientes operaciones:

- Movimiento de datos
- Operaciones lógicas y aritméticas
- Corrimientos y rotaciones
- Manipulación de bits
- Control de programas
- Control del sistema
- Decodificación.

El MCM 68 000 a parte de contar físicamente con sus 23 líneas de direcciones, sus 16 líneas de datos y 31 líneas para - el control de interrupciones, posee otras líneas para controlar la comunicación con memoria y periféricos, así como 3 líneas que determinana el estado de procesador. En la figura VI.3.2. se - tiene un diagrama del procesador con sus señales de entrada y sa - lidad.

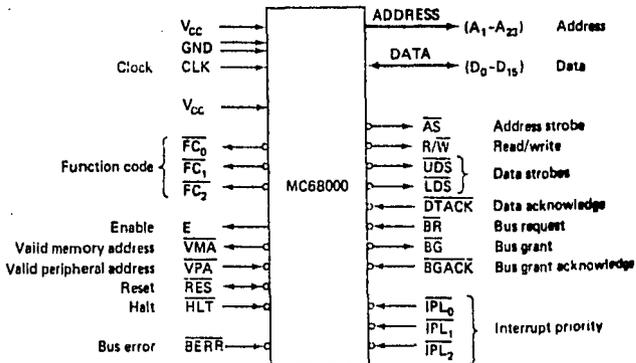


Fig. VI.3.2 Señales del procesador MCM 68000 L XY

Finalmente una característica del MCM 68000 la cual - lo hace ser un microprocesador de mucha versatilidad, es que és te es compatible con todos los dispositivos que forman parte de la familia del microprocesador MCM 6800, y por supuesto también lo es de los de su propia familia.

VI.3.2 INTERFASE ADAPTADORA DE COMUNICACION ASINCRONA (MC 6850 ACIA)

La interfase adaptadora, de comunicación asíncrona MC 6850, la cual usualmente se abrevia como ACIA debido a su nombre en inglés, es un dispositivo fabricado por la compañía Motorola Inc., la cual tiene como función primordial tanto la transmisión así como la recepción de datos en serie, viniendo a ser un equivalente a los dispositivos conocidos como transmisores-receptores universales asíncronos (UART's), dichos dispositivos realizan la conversión bidireccional de datos en forma paralelo-serie. Físicamente el MC 6850 es un circuito integrado que cuenta con - 24 terminales siendo compatible con la familia M 68000. En la - figura VI.2.2.1 se puede apreciar la vista superior de dicho circuito así como la forma en la cual se encuentran dispuestas sus terminales

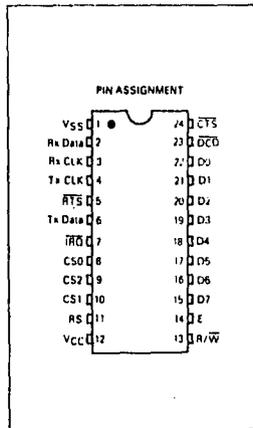


Fig. VI.2.2.1 Vista superior del MC 6850 ACIA.

Por su parte esta interfase cuenta con diferentes terminales que le sirven para relacionarse con el resto del sistema de computo; entre estas podemos encontrar un canal de datos de ocho bits, que presenta las características de ser bidireccional y de tres estados. Dentro de dicho canal no circulan únicamente los datos más recientes que provienen o bien se dirigen hacia los dispositivos periféricos, sino también se puede tener presente toda la información necesaria para el control así como del estado actual del sistema. El ACIA cuenta con tres líneas de selección del circuito (Chip-select lines) siendo dos de ellas activas altas mientras que la tercera es activa baja. Por otra parte, existe una terminal que permite la selección de alguno de los registros internos del dispositivo, dicha terminal se denomina Register select (RS). Existe también la terminal de lectura/escritura (R/W), la cual gobierna la dirección de la transferencia de datos entre el microprocesador y el ACIA. Se encuentra presente también una terminal de habilitación (Enable) la cual determina cuando serán transferidos los datos; dicha terminal generalmente se conecta a la salida que tiene el mismo nombre y se encuentra en el microprocesador. Finalmente se encuentra instalada una terminal denominada "solicitud de interrupción" (interruption request) especificada como \overline{IRQ} , la cual cuando se encuentra acoplada al sistema de interrupciones del sistema, puede iniciar algún tipo de estado de excepción por parte del procesador.

Por otra parte, el ACIA cuenta con dos entradas para reloj, una para la transmisión de datos y otra para su recepción. Lo anterior es común en los dispositivos del tipo UART.

Dentro de la sección periférica del dispositivo se pueden encontrar cinco señales, dos de las cuales vienen a ser "transmitir datos" y "recibir datos". El dato que se encuentra entre estas señales es el transmitido en serie. Las otras tres señales se emplean para comunicar el ACIA con un MODEM (Modulador-Demodulador). Dichas señales son: Detección de portadora de datos (Data carrier detect) DCD, Solicitud para mandar (Request to send) \overline{RTS} , Borrar para mandar (Clear to Send) \overline{CTS} . Cada una de estas señales es activa baja.

Dentro del ACIA existen cuatro registros internos los cuales se encuentran disponibles para el programador. Dichos registros se denominan registro de datos a transmitir, registros de datos a recibir, registro de control y registro de estado. Los registros de datos a transmitir y de control son únicamente para escritura (esto es, su contenido no puede ser leído), mientras - que por su parte los registros de datos a recibir y de estado son únicamente para lectura. La selección de los registros se lleva a cabo mediante la combinación de las entradas "selección de registro" (register select) y lectura/escritura (read/write). La terminal de lectura/escritura del ACIA se conecta a la señal de lectura/escritura proveniente del microprocesador, por lo tanto - cualquier operación de lectura (la cual tiene lugar en el acumulador de carga) puede acceder al igual tanto al registro de recepción de datos, así como al registro de estado. La entrada RS normalmente se encuentra conectada al bit 0 del canal de direcciones del sistema, pudiendo ser accesado como una de dos direcciones. - El contenido de los registros así como su significado se muestran en la tabla VI.2.2.1

Con el fin de acceder los registros de transmisión y recepción de datos el valor que debe estar presente en RS es "1". - El bit 0 de cada uno de estos registros es el menos significativo, el cual será el primero en transmitirse en cualquier dirección. Si se selecciona transmitir siete bits mas paridad el bit 7 será transmitido como "no importa", el cual será interpretado como cero en el registro de recepción de datos.

Por otra parte, los registros de control y estado se accesan cuando RS=0. Por su parte, el registro de control determina las características de la transmisión de datos. El contenido neto del registro de control se ha dividido en cuatro campos diferentes, los cuales gobiernan a distintas fases de operación. Los bits número 0 y 1 determinan la rapidéz de los bits de datos (bit data rate), como función de los relojes de transmisión y recepción. Son posibles las divisiones por 1, 16 y 64. Tanto la rapidéz de transmisión así como la de recepción también se controlan mediante estos dos bits. Cuando ambos bits toman un valor lógico de "1" tiene lugar un reestablecimiento general de las condiciones del sistema (master reset), lo cual implica cesar cualquier actividad de -

transmisión de datos que se este ejecutando en ese momento, dando tambien un valor lógico de "0" a los bits del registro de estado, a excepción de los bits 2 y 3 del mismo. Ningún otro bit - del registro de control se ve afectado por esta condición de reestablecimiento. Los bits 2, 3 y 4 del registro de control gobiernan el número de bits de datos, bits de fin, (stop bits) y bits - de paridad como se muestra en la tabla VI.2.2.1. Los bits 5 y 6 del registro de control gobiernan el estado de las líneas $\overline{\text{RTS}}$ (request to send o solicitud para transmitir), que viene a ser una - salida del ACIA, así como $\overline{\text{IRQ}}$, la cual puede ser o no transmitida al microprocesador cuando se ha transmitido completamente un caracter. Manteniendo $\overline{\text{RTS}}$ baja indica en forma efectiva que la línea de comunicación esta activa, mientras que si es alta indica inactividad. Mediante los bits 5 y 6 del registro de control es posible transmitir alguna condición de interrupción. El bit 7 del registro de control gobierna el momento en el cual se origina una interrupción mediante la señal $\overline{\text{IRQ}}$ después de haber recibido algún caracter. Si el bit 7 esta en un estado alto, la señal IRQ será generada. Cualquiera de las condiciones que se indican a continuación - generan una interrupción IRQ: registro de recepción de datos se encuentra lleno, exceso y superposición de datos (data overrun), por último una transición de un nivel bajo a uno alto en el detector - del portador de datos.

El registro de estado indica todas las posibles condiciones relacionadas con la transmisión y recepción de caracteres. Indicándose las condiciones de operación tanto normales así como aquellas en que existen errores, dichas indicaciones se detectan y - graban sin importar que hayan sido generadas algunas interrupciones del procesador. El bit 0 de este registro indica la condición de estar lleno el registro de recepción de datos, lo cual se abrevia como RDRF (Receiver Data Register Full) siendo encendida esta bandera cuando un caracter ha sido recibido completamente y se encuentra listo para ser captado por el procesador. Por otra parte cuando el dato ha sido captado por el procesador, este bit es apagado. El bit 1 de éste registro indica cuando se encuentra vacío el registro de transmisión de datos, lo cual se abrevia TDRE (transmit Data Register Empty) e indica que un nuevo caracter puede ser almacenado dentro del registro de escritura de datos. Por su par-

te, el bit 2 es el encargado de la detección de la portadora de datos, esta bandera se denota como \overline{DCD} . Cuando se encuentra en un estado bajo indica que se encuentra presente una portadora - proveniente de algún MODEM (Modulador-Demodulador) pudiéndose - transmitir caracteres en cualquier sentido. Si se presenta el caso de tener en la entrada \overline{DCD} una transición bajo a alto y un instante posterior regresar nuevamente a bajo, el bit de estado DCD permanecerá encendido hasta que el registro de estado sea - empleado por el procesador. Por su parte, el bit 3 de este registro, el cual se denomina "Borrar para Mandar" (Clear to Send) indica el estado presente en la línea CTS proveniente de algún - MODEM. Cuando esta señal se encuentra en un estado bajo se indica una operación normal, sin embargo, cuando se encuentra en un nivel alto, no se permite ninguna transmisión. El bit 4 indica un error de enmarcado, encendiéndose cuando un bit de fin no es recibido aun cuando se le esperaba. Dicho bit es apagado cuando se recibe cada caracter válido o despues de un reestablecimiento general. El bit 5 del registro de estado indica un exceso y superposición de datos en el receptor (receiver overrun), lo cual se indica mediante OVRN. Esta bandera indica que dos o más caracteres válidos han sido recibidos sin haber leído aún el microprocesador el primero de ellos. Este bit puede apagarse al leer algún caracter del registro de recepción de datos o bien al aplicar un reestablecimiento general al sistema. El bit 6 de este registro es el encargado de detectar los errores de paridad dentro de los caracteres recibidos. El error de paridad puede detectarse - únicamente si se ha seleccionado alguna opción de paridad dentro del registro de control. Este bit permanecerá encendido hasta - que sea detectado un caracter inválido en el registro de lectura de datos. Por último, el bit 7 denominado "Solicitud de Interrupción" (Interuption Request) \overline{IRQ} . Este bit será activado cuando - ocurra cualquier condición de interrupción. Por su parte, el bit 7 permanecerá en alto siempre que la salida \overline{IRQ} sea baja, siendo desactivado por cualquier lectura en el registro de recepción de - datos, o bien, por cualquier escritura dentro del registro de transmisión de datos.

Existe una razón específica por la cual se cuenta con un bit de interrupción separado dentro del registro de estado. Si se emplean dos o más ACIA's en un mismo sistema, sus líneas \overline{IRQ} se encontrarán físicamente unidas junto con la del procesador. Por otra parte, si tiene lugar una interrupción en alguno de éstos, el microprocesador no tiene manera de determinar cual solicitó dicha interrupción. Por lo tanto, se debe cargar cada registro de estado con el fin de determinar cual dispositivo solicitó servicio. Al procedimiento de cargar y analizar todos los registros se le conoce como "Poleo" (Polling).

TABLA VI.2.2.1 (a), (b), (c) y (d)

Número de línea en canal de datos	RS.R/W Registro de transmisión de datos. Solo escritura.	RS.R/W Registro de recepción de datos. Solo lectura.	RS.R/w Registro de control. solo escritura.	RS.R/w Registro de estado. Solo lectura.
0	Bit de datos 0 (LSB)	Bit de datos 0	División del conteo selección 1 (CRO)	1 RDRF
1	Bit de datos 1	Bit de datos 1	División del conteo selección 2 (CR1)	TDRE
2	Bit de datos 2	Bit de datos 2	Selección 1 de palabra (CR2)	\overline{DCD}
3	Bit de datos 3	Bit de datos 3	Selección 2 de palabra (CR3)	\overline{CTS}
4	Bit de datos 4	Bit de datos 4	Selección de palabra 3 (CR4)	Error de marco FE
5	Bit de datos 5	Bit de datos 5	Control de transmisión 1 (CR5)	OVRN
6	Bit de datos 6	Bit de datos 6	Control de transmisión 2 (CR6)	Error de paridad PE
7	Bit de datos 7	Bit de datos 7	Habilitación de recepción de interrupción (CR7)	IRQ

(a)

CRI	CRO	FUNCION
0	0	÷ 1
0	1	÷ 16
1	0	÷ 64
1	1	Reestablecimiento.

(b)

CR4	CR3	CR2	FUNCION
0	0	0	7 Bits + paridad par + 2 bits de fin.
0	0	1	7 Bits + paridad non + 2 bits de fin.
0	1	0	7 Bits + paridad par + 1 bit de fin.
0	1	1	7 Bits + paridad non + 1 bit de fin.
1	0	0	8 bits + 2 bits de fin.
1	0	1	8 bits + 1 bit de fin.
1	1	0	8 bits + paridad par + 1 bit de fin.
1	1	1	8 bits + paridad non + 1 bit de fin.

(c)

CR6	CR5	FUNCION
0	0	\overline{RTS} = bajo, interrupción de transmisión desactivada.
0	1	\overline{RTS} = bajo, interrupción de transmisión activada.
1	0	\overline{RTS} = alto, interrupción de transmisión desactivada.
1	1	\overline{RTS} = bajo. Transmite un nivel de ruptura (Break level) en la salida de transmisión de datos. Interrupción de transmisión desactivada.

(d)

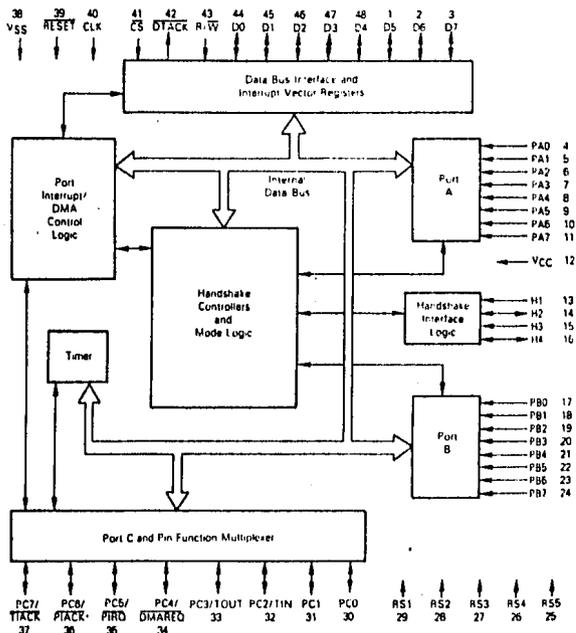


Fig. VI.3.3.2 Organización interna del MC68230 PI/T

son H1, Hw, He y Hr), dos líneas de entrada-salida de propósito general y seis líneas específicas de doble función. Ahora bien, las seis líneas de doble función pueden operarse en forma individual como un tercer puerto (Puerto C) o sino como líneas que pueden realizar alguna función relacionada ya sea con los puertos - (A o B) o bien con el cronómetro (timer). Las cuatro líneas de protocolo (hs, Hw, He y H4) son programables y dependiendo del modo en el cual se les programe pueden ya sea: controlar la transferencia de datos desde o hacia los puertos, o por el contrario, emplearse tanto como entradas generadoras de interrupciones o bien como líneas de entrada-salida.

El cronómetro (timer) consiste en un contador binario de 24 bits, el cual puede ser accionado por una preescala de 5 - bits. Mediante tres líneas se logra la comunicación completa de las entradas y salidas del cronómetro, dichas líneas vienen a ser PC2/TIN, PC3/TOUT y PC7/TIACK. Como es fácil de suponer solo aquellas líneas que son útiles durante esta configuración realizan las funciones del cronómetro mientras que el resto permanecen como líneas del puerto C de entrada-salida.

Por otra parte, el canal de datos del circuito se encarga de la transferencia asíncrona de datos desde o hacia el PI/T - respecto al canal maestro de datos del sistema de cómputo. El canal de datos del circuito abarca las terminales D0 a D7.

El control de los datos que serán transferidos entre - PI/T y el procesador se logra mediante las líneas: Reconocimiento de transferencia de datos (Data Transfer Acknowledge \overline{DTACK}) selección de Registro (Register Select RS1-RS5), Selector del circuito (Chip select \overline{CS}), lectura/escritura (Read/Write R/ \overline{W}). Reconocimiento de interrupción del puerto (Port Interup Acknowledge \overline{PIACK}) y - Reconocimiento de interrupción del cronómetro (Timer Interrup Acknowledge \overline{TIACK}).

A continuación se presenta una breve descripción de la manera en que operan cada una de las líneas que se encuentran físicamente instaladas en el PI/T. En la figura VI.3.3.3 se puede apreciar la lógica de asignación de dichas líneas.

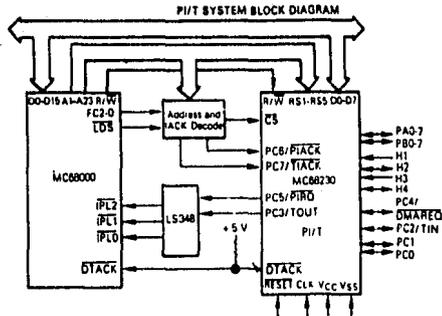


Fig. VI.3.3.3 Lógica de asignación del PI/T

Líneas D \emptyset - D7.- Representan un canal de datos bidireccional, en el cual las terminales D \emptyset , D1, D2, D3, D4, D5, D6 y D7 constituyen la vía de comunicación mediante la que pueden viajar desde o hacia el microprocesador datos de ocho bits.

Líneas RS1-RS5.- Vienen a ser líneas de selección de registro, y son activas cuando se encuentran en un estado alto pudiendo permanecer en un estado de alta impedancia cuando no se encuentran en uso. Estas líneas permiten determinar cual de los 25 posibles registros diferentes ha sido seleccionado.

Línea R/ \bar{w} .- La señal de entrada de Lectura/Escritura permite determinar la clase de actividad (ya sea lectura o escritura) que debe desarrollar durante el ciclo del canal. Es importante hacer notar que un ciclo de canal es el tiempo en el cual se realiza el intercambio de protocolos e información cubriendo los 16 bits de datos. Un -

ciclo de canal incluye diferentes ciclos de máquina.

Línea \overline{CS} .- Terminal que sirve para la selección del circuito a operar. Este tipo de línea permite la operación entre los estados lógicos alto y bajo así como en el de alta impedancia o tercer estado del resto de las líneas tanto de entrada como de salida del PI/T. El control de esta línea se logra al combinar en una ecuación booleana las señales de "validación de dirección" (Address Strobe \overline{AS}), "Validación de datos" (Data Strobe) ya sea superior o inferior (Upper Data Strobe \overline{UDS}), Lower Data Strobe \overline{LDS}), junto con los bits adecuados del canal de direcciones.

Línea \overline{DTACK} .- Representa a la señal de salida para el reconocimiento de transferencia de información (Data Transfer Acknowledge). Esta línea, que es activa en un nivel bajo señala la terminación de un ciclo de canal. Durante un ciclo de lectura o de reconocimiento de interrupción es generada la señal \overline{DTACK} por el PI/T después de que los datos han sido suministrados al canal maestro de datos; por otra parte, durante ciclos de escritura se origina después de que los datos han sido aceptados por el canal de datos del PI/T.

Línea \overline{RESET} .- Esta línea se denota como Reestablecimiento general, la cual se emplea para inicializar todas las funciones que puede realizar el PI/T. Todos los registros de datos, control y direcciones son limpiados así como se inhiben la mayoría de las operaciones internas cuando esta señal toma un nivel bajo.

Línea CLK.- Representa la terminal para la señal del reloj, el cual es compatible con el reloj del microprocesador pudiendo tenerse una frecuencia de oscilación de 8 o 15 Megahertz.

Línea PA0 - PA7 y PB0-PB7.- Corresponden a los puertos A y B, los cuales son de 8 bits en paralelo cada uno pudiendo ser concatenados para lograr un puerto en paralelo de 16 bits. Por otra parte, los puertos pueden ser controlados mediante las líneas de protocolo H1-H4 o bien mediante un programación adecuada.

Línea H1-H4.- Este tipo de líneas corresponde a las señales de protocolo entre los puertos de entrada-salida y los sistemas periféricos, pueden operar como entrada-salida dependiendo del modo y submodo de programación. Por otra parte, estas terminales son de propósito general y dependiendo del modo de operación pueden ejecutar un protocolo entrelazado, o bien pulsante o por el contrario configurarse como una entrada de interrupción. (independientemente de la transferencia de datos), o sino como simples terminales de entrada-salida. El sentido de estas líneas, esto es si son activas altas o bajas, puede ser programado mediante los bits 0, 1, 2 y 3 del registro del control general del puerto. Además, independientemente del modo seleccionado, el nivel instantáneo de este tipo de señales puede ser leído en el registro de estado del puerto (Port Status Register).

Línea del puerto C.- Estas terminales corresponden a las líneas que se pueden configurar ya sea como puerto C (PC0-PC7) o bien como una función alterna. Lo anterior se puede interpretar como la posibilidad de tener ocho líneas de propósito general para entrada-salida, lo cual se logra al operar como PC0, PC1, PC2, PC3, PC4, PC5, PC6 y PC7, o por el contrario cualquier combinación de las seis líneas con funciones especiales y las dos restantes de entrada-salida de propósito general (PC0 y PC1). Por su parte, cada terminal doble puede ser configurada como entrada-salida o de función específica de manera independiente a las otras terminales, pudiendo ser programadas de manera individual ya sea como entradas o salidas dependiendo del Registro de dirección de datos del puerto C. En este caso se entiende como dirección el sentido de entrada o salida sin hacer referencia al número de identificación de alguna localidad de memoria. Por otra parte, las funciones alternas TIN, TOUT y TIACK corresponden a señales generadas por el cronómetro (timer) siendo algunas entrada y otras salida. La señal TIN puede ser empleada como una línea de entrada proveniente de

Register Select Bits								- REGISTER MODEL													
5	4	3	2	1	7	6	5	4	3	2	1	0	Port Mode Control	H34 Enable	H12 Enable	H4 Sense	H3 Sense	H2 Sense	H1 Sense	Port General Control Register	
0	0	0	0	0																Port Service Request Register	
0	0	0	0	1	*	SVCRO Select				Interrupt PFS			Port Interrupt Priority Control							Port A Data Direction Register	
0	0	0	1	0	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0								Port B Data Direction Register	
0	0	0	1	1	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0								Port C Data Direction Register	
0	0	1	0	0	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0								Port Interrupt Vector Register	
0	0	1	0	1	Interrupt Vector Number												*	*			Port A Control Register
0	0	1	1	0	Port A Submode				H2 Control				H2 Int Enable	H2 SVLHO Enable	H1 Stat Cnt				Port B Control Register		
0	0	1	1	1	Port B Submode				H4 Control				H4 Int Enable	H4 SVLHO Enable	H3 Stat Cnt				Port A Data Register		
0	1	0	0	0	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0								Port B Data Register	
0	1	0	0	1	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0								Port A Alternate Register	
0	1	0	1	0	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0								Port B Alternate Register	
0	1	0	1	1	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0								Port C Data Register	
0	1	1	0	0	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0								Port Status Register	
0	1	1	1	0	H4 Level	H3 Level	H2 Level	H1 Level	H4S	H3S	H2S	H1S								Intrpt	
0	1	1	1	1	*	*	*	*	*	*	*	*								Intrpt	
1	0	0	0	0	IOUT/TRACK Control				ZD Cnt	*	Chk Control	Timer Enable							Timer Control Register		
1	0	0	0	1	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0								Timer Interrupt Vector Register	
1	0	0	1	0	*	*	*	*	*	*	*	*								Intrpt	
1	0	0	1	1	Bit 23	Bit 22	Bit 21	Bit 20	Bit 19	Bit 18	Bit 17	Bit 16								Counter Prioord Register (High)	
1	0	1	0	0	Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12	Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8								(Mid)	
1	0	1	0	1	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0								(Low)	
1	0	1	1	0	*	*	*	*	*	*	*	*								Intrpt	
1	0	1	1	1	Bit 23	Bit 22	Bit 21	Bit 20	Bit 19	Bit 18	Bit 17	Bit 16								Count Register (High)	
1	1	0	0	0	Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12	Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8								(Mid)	
1	1	0	0	1	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0								(Low)	
1	1	0	1	0	*	*	*	*	*	*	*	*								Timer Status Register	
1	1	0	1	1	*	*	*	*	*	*	*	*								Intrpt	
1	1	1	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*								Intrpt	
1	1	1	0	1	*	*	*	*	*	*	*	*								Intrpt	
1	1	1	1	0	*	*	*	*	*	*	*	*								Intrpt	
1	1	1	1	1	*	*	*	*	*	*	*	*								Intrpt	

*Unused, read as zero

Tabla VI.3.3.1 Modelo de los registros internos del PI/T.

un reloj externo disparado por un flanco positivo, o como una línea externa de control de operación/espera (Run-Half). El cronómetro se encuentra en operación si esta señal es alta y se encuentra en un estado de espera si dicha señal es baja. La señal -TOUT puede proporcionar una salida que es activa baja y corresponde a una solicitud de interrupción al procesador por parte del cronómetro, o por el contrario se puede tener como salida una onda cuadrada del propósito general, la cual es inicialmente alta. Por último la señal $\overline{\text{TIACK}}$ corresponde a una señal de entrada que es activa baja y representa el reconocimiento por parte del procesador de la existencia de una interrupción por parte del cronómetro.

La terminal $\overline{\text{DMAREQ}}$ que corresponde a la línea de solicitud de un acceso directo a memoria proporciona una interrupción al procesador con la mayor jerarquía posible, su duración son tres pulsos de reloj.

Por último, las líneas $\overline{\text{PIRQ}}$ y $\overline{\text{PIACK}}$ representan las señales correspondientes al protocolo de interrupción por parte de los puertos. $\overline{\text{PIRQ}}$ significa Solicitud de interrupción de los Puertos (Port Interrupt Request), mientras que $\overline{\text{PIACK}}$ significa Reconocimiento de Interrupción de los Puertos (Port Interrupt Acknowledge).

En la tabla VI.3.3.1 se especifica el modelo de los registros internos del PI/T, los cuales se accesan mediante las líneas RS0-RS5. La descripción detallada tanto de la manera en que opera este dispositivo, así como las normas que se siguen para programarlo van más allá de los fines que persigue esta sección, por lo tanto para lograr un mayor entendimiento es conveniente remitirse al apéndice 1 de la bibliografía anexa a este capítulo. A manera de resumen, nos limitaremos a comentar que la interfase paralelo/cronómetro MC68230 proporciona un sistema de intercomunicación de datos, doblemente aislado aparte de un cronómetro programable orientado a sistemas que emplean al microprocesador MC68000. La interfase en paralelo puede operar de manera unidireccional o bidireccional con arreglos de 8 o 16 bits de ancho. En los modos unidireccionales se asocia un registro de dirección de datos en el

cual se especifican las entradas o salidas de las terminales - presentes. Por otra parte, en los modos bidireccionales son - ignorados los registros de dirección de datos, ya que dichas - direcciones se especifican dinámicamente por el estado de las cuatro líneas de protocolo. Además, los puertos del PI/T permiten el empleo de interrupciones vectorizadas o autovectorizadas a parte de permitir la existencia de solicitudes para acceso directo de memoria (DMA Request.). El cronómetro del dispositivo contiene un contador binario de 24 bits de ancho junto con un preescalador de 5 bits de longitud. El cronómetro puede ser accionado por el reloj maestro del sistema, el cual se comunica mediante la terminal CLK o mediante un reloj externo que se conecta a la terminal TIN empleándose además una preescala de 5 bits. Este dispositivo puede general interrupciones periódicas, ondas cuadradas o simples interrupciones después de un intervalo de tiempo previamente programado, pudiendo de esta manera ser empleado para la medición de tiempo. Por último podemos decir que con estas características del dispositivo empleado soluciona problemas de espacio y tiempo.

VI.3.4.1 MEMORIA RAM.

Para configurar los bloques de memoria RAM que va a tener disponibles la microcomputadora se pretenden emplear circuitos de memoria con capacidad de 2 kilobytes cada uno.

El circuito de memoria RAM (random access memory) que se va a utilizar es el MCM65116, el cual tiene una capacidad de almacenamiento de 2048 palabras de 8 bits. Esta memoria es del tipo estática y está fabricada con tecnología HCMOS. En la figura VI.3.3 se presenta un diagrama de bloques de esta memoria.

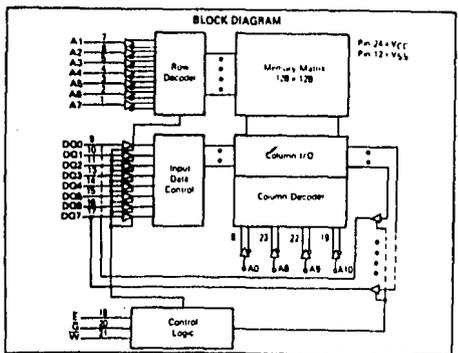


Fig. VI.3.3 Diagrama de bloques de la memoria SRAM.

La memoria MCM 65116 está disponible en un paquete de 24 terminales estandarizadas con las memorias EPROM y ROM de la misma capacidad. Este circuito solo necesita para su operación de una fuente de 5 volts y además es completamente compatible con los niveles TTL. En la figura VI.3.4 está el diagrama de este circuito con sus terminales.

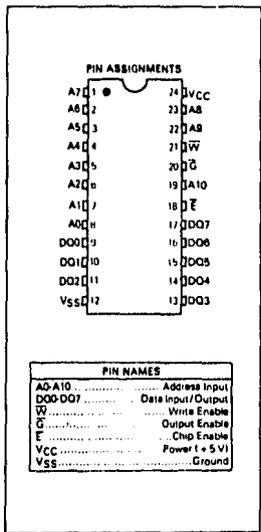


Fig. VI.3.4 Vista superior de la memoria SRAM.

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 energía, lo cual es característico de las memorias CMOS.

Los tiempos de acceso de los circuitos MCM65116 son los siguientes:

120 ns para el MCM 65116 - 12

150 ns para el MCM 65116 - 15

200 ns para el MCM 65116 - 20

VI.3.4.2 MEMORIA EPROM.

Para estructurar la memoria EPROM (Erasable programmer read only memory) del sistema se ha decidido utilizar circuitos de memoria MCM 68764 los cuales son memorias borrables y eléctricamente reprogramables con una capacidad de almacenamiento de 8192 bytes de 8 bites. En la figura VI.3.5 se encuentra el diagrama de bloques de esta memoria.

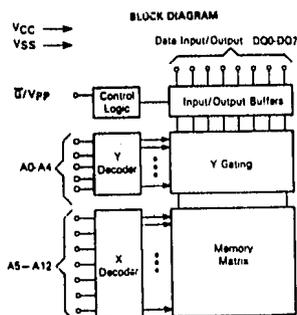


Fig. VI.3.5 Diagrama de bloques de la memoria UVEPROM.

El circuito de memoria MCM 68764 opera con una sola - fuente de 5 volts y es completamente compatible con TTL. Esta memoria ha sido desarrollada con tecnología MOS, y está disponible en paquetes estandar de 24 terminales. Ver figura VI.3.6.

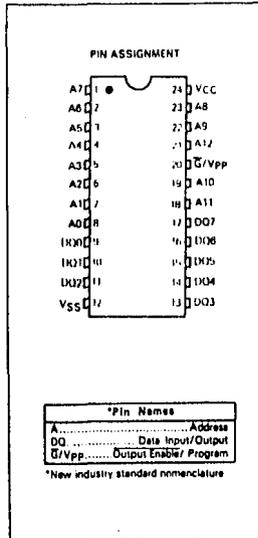


Fig. VI.3.6 Vista superior de la memoria UVEPROII.

Este tipo de memorias tienen en la parte superior una ventana por la cual se aplica luz ultravioleta para borrar la - información cuando sea necesario.

El tiempo de acceso de los circuitos MCM 68764 es de 450 nanosegundos y de 350 ns para los MCM 68764-35.

VI.4 DISEÑO FISICO DE LA MICROCOMPUTADORA.

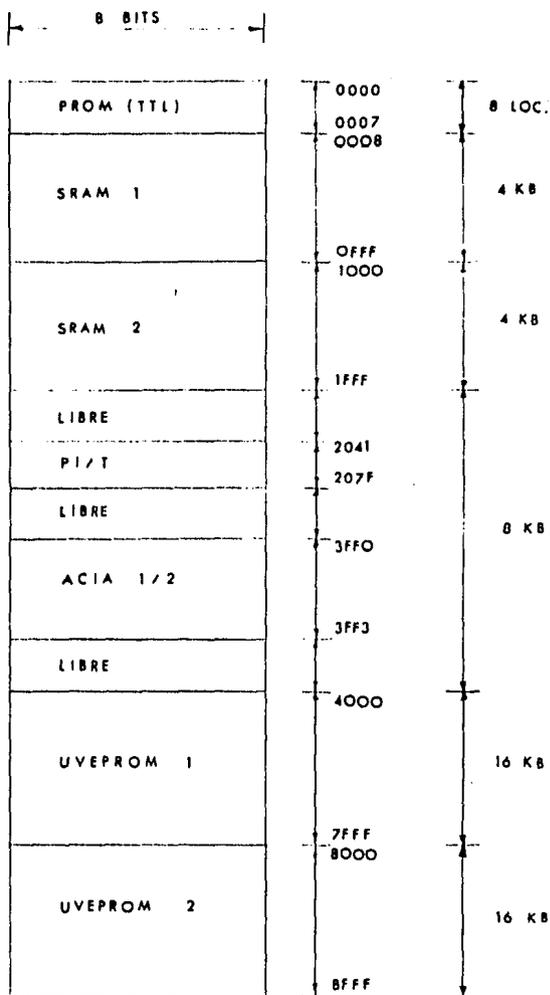
El primer paso antes de efectuar cualquier tipo de propuesta de diseño viene a ser el revisar la manera en que el procesador manipula tanto la memoria como los dispositivos de entrada-salida, que en este caso vienen a ser los puertos, así como a los dispositivos periféricos con que cuenta el sistema. 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 mas circuitos entre sí. Cuando

ya se han 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 hecho este análisis se determinan mediante un diagrama maestro todas las posibles conexiones físicas a efectuar tomando en cuenta en el mismo la presencia de todos aquellos dispositivos - que se van a emplear, siendo el último paso en la secuela de diseño, la elaboración de un prototipo físico en el cual se van a efectuar todas aquellas pruebas necesarias que garanticen la satisfacción de las limitantes de diseño. Es importante hacer notar que estas limitantes tienen una intervención inicial al momento de proponer la lógica de interrelación y operación del sistema, ya que de no ocurrir esto, el prototipo diseñado no las podría satisfacer plenamente.

Como parte de nuestra secuela de diseño es conveniente mencionar el microprocesador empleado basa su funcionamiento en - un mapa de memoria que es compartido tanto por las memorias RAM y EPROM, como por los dispositivos periféricos y los puertos de entrada-salida. Este mapa de memoria contrariamente a lo que se podría suponer cuenta con arreglos de 8 bits en cada una de sus localidades, debido a que por su parte el procesador manipula palabras de 16 bits surge el concepto de dirección par y de dirección non dentro del mismo mapa. Entendiéndose por dirección par el número al que se refiere una localidad par dentro del mapa de memoria y dirección non aquella localidad que se encuentra contigua a una par. Por otra parte, el manipular en esta forma la memoria - se conoce como ya se mencionó con anterioridad en el tema IV.6, - como mapeo de memoria.

Antes de efectuar el mapa de memoria 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 del tipo RAM mientras que al final se situara a la del tipo EPROM. Por otra parte, aumentaremos a las limitantes de diseño el hecho de considerar que dentro del mapa - no se pueden repetir secciones iguales en localidades distintas, esta medida tiene como fundamento el no trasladar funciones de -

MAPA DE MEMORIA



NOTA: 1KB = 1 KILOBYTE = 1024 BYTES DE 8 BITS C/U

Fig. VI.4.1 Mapa de memoria.

los dispositivos ya que el sistema está orientado a control de procesos y su operación debe seguir una línea de acción específica y sin dualidades que causan a la larga el colapso del medio de operación.

Analizando todo lo que hasta ahora se ha expuesto, contamos con los argumentos necesarios para afirmar que el mapa de memoria que se ilustra en la figura VI.4.1 cumple con los requisitos mínimos que se especifican dentro de las limitantes de diseño antes propuestas. Es importante hacer notar que las direcciones se encuentran escritas en el sistema de numeración hexadecimal para facilitar su manipulación, acotándose en el número de kilobytes que cubren, tomando como referencia el hecho que un kilobyte es igual a 1024 localidades de memoria.

Una vez que se ha efectuado el mapa de memoria el siguiente paso es proponer la lógica de decodificación de las direcciones que general el procesador con el fin de habilitar las diferentes secciones de dicho mapa. Tomando en cuenta las limitantes de diseño así como el hecho de no permitir repetición en las secciones podemos llegar a la conclusión que el mejor medio para lograr un manejo adecuado del mapa de memoria, es contar con la presencia de decodificadores como parte fundamental de nuestra lógica, ya que su empleo permite controlar de manera segura y versátil tanto la expansión así como la contracción de nuestro mapa.

Los decodificadores que serán empleados son básicamente de dos tipos: el primero que relaciona 4 entradas con 16 salidas, el cual comúnmente se denota como "decodificador de 4×16 ", mientras que el segundo relaciona 2 entradas con 4 salidas, esta clase se le denota comúnmente "decodificador 2×4 ", de éste último tipo existen en forma comercial circuitos integrados que contienen físicamente instalados 2 decodificadores independientes, a los cuales se les conoce como decodificadores dobles y permiten un gran ahorro no solo económico sino también en espacio.

En la figura VI.4.2 se puede apreciar la distribución que se propone en el arreglo de los decodificadores, en este caso se emplean seis elementos, combinándose entre los dos tipos ya mencionados. Por otra parte, las letras A que se ilustran en la figu-

ra representan a cada una de las líneas de direcciones provenientes de procesador, siendo esta la razón por la cual cuentan con un subíndice numerado. Se indica también cuales de estas líneas se conectan 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.

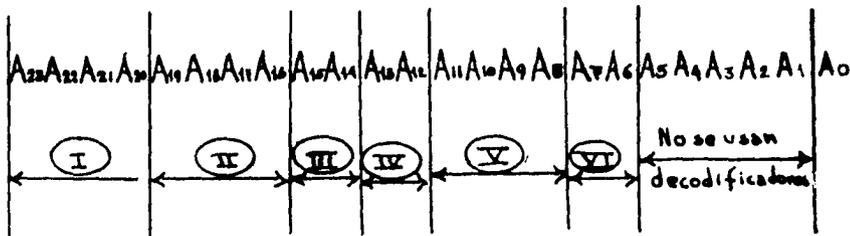


Fig. VI.4.2 Arreglo general de decodificadores.

Este procesador en especial presenta la peculiaridad de poder direccionar abiertamente hasta 16 kilobytes mediante un canal de direcciones de 24 bits, sin embargo a la salida del procesador solo se pueden encontrar 23 bits (del A1 al A23) reservándose el bit A0 para generar las señales \overline{AS} , \overline{LDS} y \overline{UDS} las cuales fueron ya explicadas con anterioridad, y que sirven para manipular tanto las direcciones pares así como las nones dentro de la memoria. En la figura VI.4.3 se expone de manera simplificada la intervención que tienen estas líneas en la selección de las localidades de memoria, así como la influencia que pueden tener en forma indirecta sobre los canales de datos, direcciones y control.

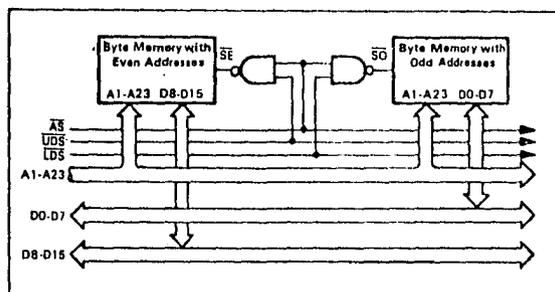


Fig.VI.4.3 Manera de selección de localidades pares y nones del mapa de memoria.

Cuando se ha alcanzado el objetivo de plasmar dentro - del diseño la lógica que decodifica en forma adecuada las direcciones en las que se encuentran las memorias, se debe tener una idea clara del sentido y la ubicación del canal de datos al cual se conectará cada dispositivo dentro del mapa de memoria. Mediante la misma figura VI.4.3 se puede apreciar la manera en que se recomienda efectuar las particiones necesarias del canal de datos.

Una vez efectuado lo anterior, es fácil determinar que líneas de control (las cuales provienen del procesador) faltan - por ser conectadas tanto a la memoria RAM como a la EPROM, para ser ubicadas en forma precisa tanto físicamente, así como dentro del mapa de memoria.

Después de haber localizado y resuelto plenamente los dispositivos que alojan a la memoria principal del sistema, el - siguiente paso corresponde a la ubicación física de los puertos con que contará la microcomputadora, tanto en serie como en paralelo. De manera inicial podemos afirmar que la lógica de decodificación en este caso, vendrá a ser nuevamente en función de los decodificadores ya instalados y que se ilustran en la figura VI. 4.2, combinando de manera adecuada las salidas de estas últimas mediante las expresiones booleanas respectivas tanto para el circuito PI/T como para el circuito ACIA. En este caso, existen también líneas dentro del canal de direcciones, las cuales no serán

combinadas presentando una conexión directa a las dos clases de dispositivos. Es importante hacer notar que de acuerdo a las limitantes de diseño, solo existirá un circuito PI/T dentro del sistema por lo cual radicará en una localidad non del mapa de memoria, mientras que por su parte se encontrarán presentes dentro del sistema dos circuitos ACIA por lo que uno de ellos se alojará en una localidad par mientras que el otro radicará en una localidad non. Las líneas de control que sean requeridas por cada uno de los dispositivos provendrán, como en el caso de las memorias, directamente del procesador. En cuanto al modo de operación los puertos en paralelo, el cronómetro y los puertos en serie no guardan ninguna relación entre sí, manteniéndose por lo tanto la comunicación únicamente con el microprocesador. Como es fácil de suponer cada uno de estos dispositivos pueden requerir el generar algún tipo de interrupción de las tareas que se encuentren actualmente en proceso, por lo tanto surge la necesidad de implementar algún tipo de lógica que relacione la jerarquía de interrupción de cada dispositivo, directamente con las líneas IPL0, IPL1 e IPL2 del procesador, las cuales son las encargadas de efectuar dicha interrupción. La lógica a emplear se basa en un dispositivo codificador capaz de relacionar 8 entradas contra 3 salidas, este tipo de circuitos se les conoce comúnmente como codificadores 8 x 3, en los cuales podemos asociar un nivel de interrupción distinto para cada entrada, teniéndose como salida la representación en sistema binario de dicho nivel. Por otra parte cada salida se conectará directamente con las líneas IPL antes mencionadas. Una vez que en estos dispositivos han quedado resueltos los problemas que se presentaron en el canal de direcciones y las líneas tanto de control como de protocolo de interrupción falta por determinar la situación que existe en el canal de datos de cada dispositivo. Los datos que son intercambiados entre el procesador y el PI deben viajar mediante un canal de 8 bits, sin obstar que la información puede ser almacenada dentro de un arreglo de 16 bits. Tomando en cuenta lo anterior, junto con el hecho de radicar en una localidad non, nos arroja como única posibilidad el empleo de los primeros 8 bits del canal de -

de datos del procesador (DO-DA),

Debido a la presencia de dos puertos de comunicación - en serie, los cuales manipulan internamente ocho bits cada una, aunado con el hecho de radicar en localidades tanto pares como - nones, el canal de datos con que cuenta el procesador, el cual - cubre 16 bits mediante las líneas D₀ a D15 será particionado en dos secciones iguales, asociándose cada sección de 8 bits a cada uno de los circuitos ACIA's.

Por último, el procesador cuenta con algunas líneas - que requieren mantener en ciertos casos un potencial determinado, para lo cual es conveniente que éstas cuenten con una resistencia de protección que comunmente se conoce como "Resistencia Pull-UP". Por otra parte, no todas las líneas con que cuenta el procesador seran empleadas, sin embargo, existen dos que son de gran interés para nuestro estudio: la primera viene a ser el reloj maestro - del sistema y la segunda, la señal maestra de reestablecimiento - (Master Reset). El reloj maestro del sistema basará su funciona- miento en un cristal de cuarzo que oscilará a la frecuencia que - sea requerida por el procesador. Se optó por la selección de di- cho cristal debido a las características de estabilidad y preci- sión que presenta este material.

La señal maestra de reestablecimiento tiene como princi- pal misión el retornar todo el sistema a las condiciones iniciales en las que se encontraba antes de ponerse en operación, esta señal será accionada por un interruptor general que empleará el usuario del sistema en caso de requerirlo así.

Como conclusión de todas las consideraciones anteriores podemos decir que la figura VI.4.4. muestra un diagrama de bloques general del microsistema diseñado, sin tomar en cuenta la presen- cia de elementos convertidores o bien adecuadores de nivel de se- ñal, ya que estos últimos se relacionan en la figura VI.4.5. Una vez efectuados los diagramas de bloques anteriores y tomando en - cuenta todo lo que hasta ahora se ha analizado, podemos afirmar - que el diagrama DI muestra lo que será nuestro prototipo de dise- ño.

Por último antes de finalizar nuestra secuela de diseño

resta programar y efectuar las pruebas necesarias dentro del sistema con el fin de garantizar el cumplimiento de las limitantes de diseño antes propuestas. Estos últimos puntos serán tratados en temas posteriores del presente estudio.

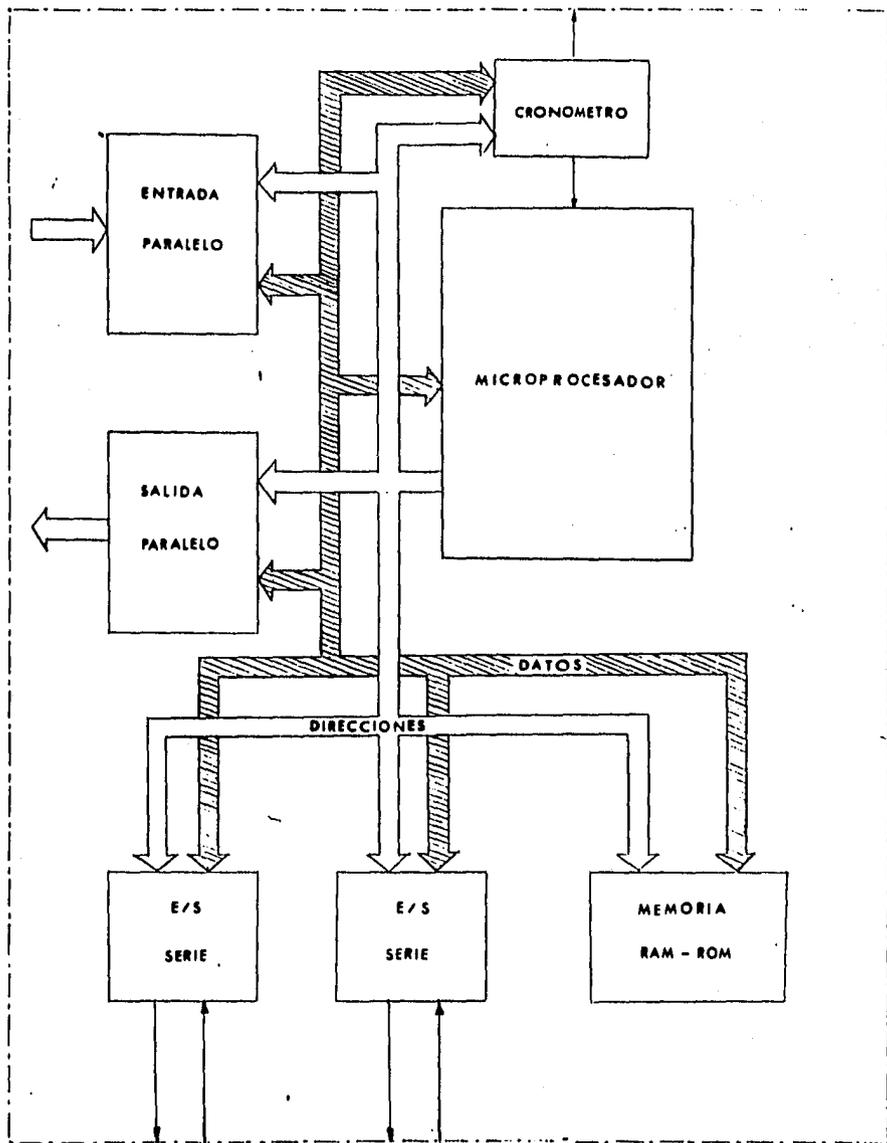


Fig. VI.4.4 Diagrama de bloques del microsistema diseñado.

VI.5 BIBLIOGRAFIA.

- 1.- "Motorola Microprocessors Data Manual"
Preparado por Centro de Información Técnica de Motorola Inc. Div. Semiconductores. Edición 1981.
E.U.A. ED. Motorola Inc.
- 2.- "A Microprocessor Course" Por Mark E. Fohl. Ed.
Petrocelli Book. New York/Princeton.
1a. Edición 1979
- 3.- "Motorola Memory Data Manual" Preparado por: Centro de Información Técnica de Motorola Inc. Div. Semiconductores. Edición 1982. E.U.A. Ed. Motorola Inc.
- 4.- "68000 Microprocessor Handbook" Por Gerry Kane.
Ed. Osborne/Mc Graw-Hill Berkeley California.
1a. Edición 1981.
- 5.- "The Complete Motorola Microcomputer Data Library"
Preparado por: Centro de Información Técnica de Motorola Inc. Div. Semiconductores. Edición 1980.
E.U.A. Ed. Motorola Inc.

CAPITULO VII

IMPLEMENTACION Y PRUEBAS DE CAMPO.

VII.1 Implementación de la microcomputadora.

VII.1 Programación del sistema.

VII.3 Pruebas de campo.

VII.4 Comentarios y conclusiones generales.

VII.5 Bibliografía.

VII.1 IMPLEMENTACION DE LA MICROCOMPUTADORA.

Para implementar el sistema desarrollado en el capítulo anterior se decidió utilizar un conjunto de tabletas para experimentación en laboratorios (Protoboard). Esta decisión se debió principalmente al hecho de tener la disponibilidad inmediata de estas tabletas, además de que el alambrado de circuitos en dichas tabletas es bastante práctico y rápido.

De acuerdo con el diseño especificado en VI.4 se tendrán las siguientes capacidades:

Microprocesador	MC 68000 L 8	1 Circuito
Memoria PROM I	MC 68764	2 Circuitos de 8 kb x 8
Memoria PROM II	MC 68764	2 Circuitos de 8 kb x 8
Memoria RAM I	MC 65116	2 Circuitos de 2 kb x 8
Memoria RAM II	MC 65116	2 Circuitos de 2 kb x 8
Interfase paralelo y reloj programable	PI/T MC68230L8	1 Circuito
2 interfases para co- municación en serie.	ACIA MC 6850	2 Circuitos

Debido a cuestiones de índole económica así como a falta de espacio en lo disponible para el alambrado del sistema se decidió no alambrear los bloques de memoria RAM II y PROM II especificados en el diagrama D1, ahora bien con respecto a los puertos para comunicación en serie, se alambro lo necesario para los dos puertos, pero solo se instaló uno de los circuitos ACIA MC6850, quedan do la base del no instalado para si es necesario poder conectarlo.

Con respecto a los circuitos de memoria RAM utilizados en el alambrado del sistema, estos no fueron exactamente los que se habfan elegido y especificado en VI.3.4, debido a que estos no fué posible conseguirlos, pero en su lugar se consiguieron los circuitos

que son completamente equivalente a los anteriores.

Para el bloque de memoria PROM también fué difícil obtener los circuitos que ya se habían elegido antes, y afortunadamente fué posible conseguir otros circuitos de memoria PROM equivalentes a los anteriores a un menor precio. Los circuitos que se instalaron en lugar de los MC 68764 son los 271S 64, fabricados por Mitsubishi, Inc., los cuales son equivalentes en cuanto a capacidad a los fabricados por Motorola Inc., y solo difieren en la configuración de sus terminales.

La microcomputadora se configura de la siguiente forma:

En la región superior izquierda se tiene el bloque de memoria RAM I. En la parte central los puertos para comunicación en serie, y en la región superior derecha el bloque de memoria EPROM I.

En la región inferior derecha se implemento el circuito de reestablecimiento automático del sistema. En la zona inferior derecha tenemos al microprocesador y finalmente en la zona central se implementaron los circuitos necesarios para la decodificación de las direcciones del sistema, así como el puerto para comunicación en paralelo.

Los circuitos requeridos para constituir una interfase RS 232 y el circuito que proporciona el reloj para la velocidad de transmisión y recepción del puerto en serie se implementaron en la parte superior en una sola tableta.

Para implementar el sistema lo primero que se procedió a realizar fué alambrar la lógica de decodificación. Una vez instalados los circuitos decodificadores se fueron alambrando los circuitos con compuertas conforme se fueron necesitando. El alambrado en los bloques de memoria y puertos de comunicación, así como en el mismo microprocesador, no se llevo a cabo directamente en los circuitos respectivos sino en sus respectivas bases. Lo anterior se llevo a cabo de esta manera para evitar así algún daño en alguno de los circuitos, ya que como han sido fabricados ba

jo tecnología MOS es recomendable tener cuidado en su manejo.

Al implementar el sistema se tuvo especial cuidado en señalar cada uno de los circuitos utilizados con alguna contraseña, para de esta manera poder identificar por ejemplo cada compuerta en el diagrama de conexiones, y así lograr localizar fácilmente cualquier falla que se presente.

Los circuitos que se utilizaron en la lógica de decodificación son decodificadores 74LS154 y 74LS139, los cuales son decodificadores 4 x 8 y 2 x 4 dobles respectivamente. Como en esta clase de decodificadores sus salidas son activas bajas y además como las señales para la habilitación de los puertos y memorias deben ser activa, bajas también, se decidió utilizar como se puede ver en el diagrama D1 circuitos 74LS32 los cuales contienen 4 compuertas OR de 2 entradas, y así cuando el sistema direcciona a alguno de sus dispositivos, y las salidas respectivas de los decodificadores se pongan en nivel bajo, son las compuertas OR será suficiente para habilitar los dispositivos sin necesidad del auxilio de otro tipo de compuertas.

La mayor parte del alambrado de la microcomputadora, se hizo utilizando cable de cobre niquelado de un hilo calibre 15. Inicialmente se estaba alambrando el sistema con cable similar al anterior pero con el conductor sin niquelar, pero como se observaron varios falsos contactos, mejor se prefirió usar el cable niquelado.

Al alambrar el sistema se procura seguir un orden específico, es decir se trata de mantener todos los cables con una cierta configuración ordenada, de tal manera que después se tuviera la facilidad de intercambiar algún circuito o relizar alguna prueba o medición sin peligro de desconectar algo.

Con respecto a la implementación de la interfase RS232 que tiene como objetivo conectar el sistema a una terminal CRT, se utilizaron circuitos MC 1488 (Driver) para la transmisión de información y MC 1489 (Receiver) para la recepción de información. Particularmente el circuito MC 1488 entrega de acuerdo con la norma de comunicación RS 232 un voltaje de ± 12 V al recibir un nivel alto (5 volts) del puerto para comunicación serie y entrega un voltaje -

de -12 volts, al recibir un nivel bajo (0 volts), análogamente - el MC 1489 recibe señales de +12 volts y -12 volts para los niveles "1" y "0" respectivamente y este circuito los transforma a los niveles de 0 y 5 volts utilizados por el sistema.

Hablando ahora de la implementación del sistema de restablecimiento automático, éste basa su funcionamiento en el uso de un circuito MA555TC el cual es un circuito de tiempo programable. Este circuito se configuro como un multivibrador monoestable, que al dispararlo entregara un pulso de aproximadamente 100 milisegundos, tiempo que debe durar la señal para restablecer al microprocesador.

El sistema de restablecimiento esta diseñado para que el monoestable se dispare al energizar la microcomputadora, así como también tiene su interruptor para restablecer en cualquier momento el sistema una vez ya en operación.

Como ya se explicó en capítulos anteriores, al restablecer al microprocesador, lo primero que realiza es leer los primeros 8 bytes de memoria, en las cuales encuentra la dirección donde comienza el stack, y la dirección donde debe empezar a ejecutar el programa monitor. Esta información debe de estar almacenada en memoria PROM, por lo cual, para este fin se alambrazon dos circuitos 74LS288, los cuales constituyen memorias PROM-TTL con capacidad de 32 bytes de 8 bits.

Se implemento una lógica que solo habilitara a estas memorias cuando se direccionaran los primeros ocho bytes de memoria, de tal manera que para estas primeras localidades no se habitara el bloque de memoria RAM, ya que como ya se expuso anteriormente en el mapa de memoria, el bloque de memoria RAM empezaría desde las primeras localidades.

Con respecto a los dispositivos de adquisición de información, como lo son los convertidores Digital-analógico (D/A) y analógico-digital (A/D), estos no se implementaron en el sistema por considerarlos a estos como interfases separadas del sistema.

VII.2 PROGRAMACION DEL SISTEMA.

Como se menciona en el tema VI.4, el último paso en la se cuela de sieño, una vez que el prototipo ha sido implementado, con siste en programar el sistema y efectuar sobre éste las pruebas ne cesarias que garanticen tanto el buen funcionamiento del mismos, - así como el cumplimiento adecuado de las limitantes de diseño pro puestas. Durante esta sección nos limitaremos a describir exclusi vamente el proceso de programación empleado, reservando para más - adelante el estudio de las pruebas a efectuar.

El objetivo fundamental de nuestro proceso de programación consiste en desarrollar un sistema de utilización de recursos ade cuado, tanto a la arquitectura interna propia de esta microcomputa do ra en especial, así como para la orientación con la que fué crea da. Tomando como referencia los temas tratados durante las seccio nes IV.3 y IB.4 del presente estudio, llegamos a la conclusión que emplearemos un sistema de utilización de recursos que presente sus características al nivel de un programa monitor, el cual mantendrá una interrelación con el exterior únicamente mediante lo que se co noce como lenguaje máquina.

Por otra parte, para poder efectuar dicho programa se de ben tomar en cuenta ciertas restricciones físicamente existentes - dentro del mismo sistema, tales como: el mapa de memoria, el con junto de instrucciones del microprocesador a emplear, la manera en que inicia su operación el sistema después de aplicar una señal - maestra de reestablecimiento (Master Reset), el modo de almacena miento físico de dicho programa, el modo de captura y ejecución de cada instrucción, el tiempo de acceso de los diferentes dispositivos que integran al sistema, etc.

Con el fin de facilitar el desarrollo del monitor conside raremos que las funciones que pueda ejecutar éste, contendrán úni camente arreglos de instrucciones presentes dentro del conjunto de instrucciones del microprocesador MC68000, (sin importar de que ma nera se empleen los modos de direccionamiento), por otra parte con sideraremos también que la manera y el tiempo de capturar y decodi ficación no será interferido por el modo y/o el tiempo de acceso a la zona de memoria en la cual radique dicho programa. Otro hecho

importante viene a ser el considerar que el medio de almacenamiento del monitor será la memoria principal en la zona correspondiente a la memoria UVEPROM, la cual se inicia en la localidad \$004000. Es importante hacer notar que dentro del mismo programa monitor es posible efectuar llamadas a subrutinas internas del mismo, para lo cual es necesario emplear la estructura de una pila o "stack" de memoria (del tipo RAM) misma que debe ser apuntada correctamente durante la ejecución de dicho programa, siendo declarada su zona de operación durante un reestablecimiento maestro mediante el procedimiento que se conoce como "bootstrap", mismo que será comentado posteriormente.

Tomando en cuenta que el programa monitor debe contener el método de control propio de cada usuario resultaría difícil que en el presente estudio nos abocáramos sin contar con algún problema de aplicación específico, al desarrollo de diferentes algoritmos capaces de generar una acción de control, cosa que además va más allá de los fines que se persiguen en esta investigación, por lo tanto nos limitaremos a crear un programa que este orientado a comunicarse con el usuario mediante una terminal, con el fin de poder ejecutar algunas funciones que realicen operaciones dentro de lo que es nuestra memoria principal.

Es conveniente que el programa monitor pueda ejecutar las siguientes acciones: listar bloques de memoria, proporcionando las direcciones inicial y final del listado; substituir información dentro de alguna sección de memoria, proporcionando la dirección en la cual se va a efectuar algún cambio y por último abortar la ejecución de este mismo programa. Resulta lógico suponer que al momento de poder realizar algún cambio en la información presente en memoria, éstos pueden contener instrucciones de algún otro programa, por lo que resultaría útil poder contar con cierto comando capaz de correr programas. Tomando en cuenta las consideraciones anteriores y el tipo de acciones que se desean ejecutar, llegamos a la conclusión que nuestro monitor contara con las siguientes funciones: Listar memoria (List), substituir memoria (Sus), correr programas (Run) y finalizar operación (Fin), mismas que serán explicadas posteriormente.

Por otra parte, debido al hecho que el monitor administra de manera general los recursos existentes en el sistema, entendiénd

dose que dichos recursos abarcan la memoria principal y todos los puertos de entrada/salida ya sean en serie o paralelo o ambos, es muy importante que éste los controle adecuadamente, por lo que se recomienda que sus primeras líneas correspondan precisamente a la programación correcta de dichos puertos, siendo ésta la razón fundamental por la cual las primeras instrucciones de nuestro programa estaran orientados al manejo eficiente de los mismos.

Antes de continuar limitando el campo de acción del monitor es importante hacer notar que la comunicación entre el sistema y la terminal se efectua con los protocolos propios de la interfase RS-232-C mediante el código ASCII y que el sistema de numeración empleado para toda cantidad dentro de cualquier función viene a ser el hexadecimal.

Una vez que ha sido acotado el problema de programar nuestro sistema mediante un programa monitor, el cual toma en cuenta las limitantes y consideraciones anteriores, podemos proceder de manera un poco más concreta a describir las características fundamentales que presenta el programa maestro de control al cual denominaremos como "MICROS" nivel 1.0. Dicho sistema iniciara sus instrucciones con la programación adecuada de los puertos en paralelo y de los puertos en serie, efectuado lo anterior procedera a transmitir a la terminal un texto inicial de reconocimiento de operación, iniciandose posteriormente una rutina en la cual se espera sea indicada la ejecución de alguna de las cuatro posibles funciones a ejecutar al oprimir alguna de las teclas siguientes: L, S, R o F, cada una de las cuales corresponde exclusivamente a una función, si es oprimida alguna tecla diferente de las anteriores, el programa procedera a regresar a la misma rutina de espera hasta que sea seleccionada alguna de las cuatro teclas anteriores. Cuando se ha seleccionado alguna función mediante el oprimir de una tecla se procede a la ejecución instantánea de la misma. A continuación describiremos cada una de las funciones antes mencionadas.

- Función LIST (L).- Tiene como objetivo fundamental el listado de secciones de memoria, para lo cual requiere se le proporcionen tanto la dirección inicial como la final por separado. Una vez que se han indicado los límites de interés, el sistema procedera a desplegar en la pantalla un listado en el cual en cada línea se indica la dirección de la localidad presente así como el contenido de la misma, en compañía del contenido de las siete localidades siguientes, representados en cantidades hexadecimales. Es importante hacer notar que dichos contenidos corresponden a bytes de memoria. Una vez que ha terminado el listado se regresa nuevamente a la rutina inicial de selección de funciones.

- Función SUS (S).- Su objetivo viene a ser substituir el contenido de alguna dirección de memoria por información nueva misma que proporcione el usuario. Este procedimiento puede ser por secciones de memoria por lo tanto se requiere proporcionar tanto la dirección inicial como final del bloque, una vez proporcionado lo anterior, el procedimiento mediante el cual se despliega la información en la pantalla es similar al que se efectuo en la función LIST, con la variante que el sistema espera información despues de mostrar cada contenido. Una característica importante de esta función es el poder dejar sin alterar el contenido mostrado al presionar exclusivamente la tecla correspondiente al caracter punto y aparte. Una vez que se ha completado el proceso de substitución de contenidos de las localidades de memoria se regresa nuevamente a la rutina inicial de selección de funciones.

- Función RUN (R).- La finalidad de esta función viene a ser modificar el contenido del contador de programa del micro

procesador para apuntar a una nueva localidad de memoria, en la cual puede estar presente algún otro programa por lo tanto requiere solamente sea proporcionada la dirección donde se desea transferir dicho contador (P.C.)

- Función FIN (F).- Su objetivo consiste en transmitir a la terminal un mensaje final de operación generando posteriormente un estado de inactividad total dentro del microprocesador mediante la instrucción STOP. El sistema saldrá de dicho estado únicamente al aplicar una señal maestra de reestablecimiento.

Es importante hacer notar que una vez seleccionada alguna función al momento de oprimir cualquiera de las cuatro teclas antes mencionadas son requeridos datos numéricos, mismos que vienen a ser las direcciones de operación, por lo tanto el sistema monitor debe contar con rutinas que verifiquen que cada caracter introducido corresponda exactamente a algún patrón hexadecimal - (dichos patrones son: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F), indicando si existe cualquier equivocación al oprimir cualquier tecla diferente a las mencionadas dentro del paréntesis anterior, mediante algún mensaje particular de error. Por otra parte, éste mismo tipo de errores se puede presentar cuando se está substituyendo el contenido de alguna localidad de memoria, por lo que también es conveniente contar con una rutina que verifique continuamente los datos introducidos de manera similar a la antes mencionada indicando también el instante en que se detecta cualquier error.

En la figura VII.2.1 se puede apreciar un diagrama de bloques que resume el diagrama de flujo del sistema MICROS,

En el apéndice B del presente trabajo se puede consultar el listado del programa monitor maestro "MICROS" nivel 1.0

En secciones posteriores se describirán las pruebas efectuadas sobre este programa en particular.

VII.3 PRUEBAS DE CAMPO.

VII.3.1 Implementación (Hardware)

Una vez implementado el sistema, y antes de ponerlo en operación, se procedió a realizar algunas pruebas sobre el mismo. Dichas pruebas tuvieron como objetivo el garantizar, que - si en un momento dado el sistema no operara debido a alguna falla, esta no fuera el resultado de alguna mala implementación o algún falso contacto en cierto sector del sistema.

Lo primero que se comprobó fué el funcionamiento de la lógica de decodificación, lo cual se llevo a cabo separando el sistema a tanto los circuitos de memoria como a los puertos de - comunicación y por supuesto al microprocesador. Esto se hizo - como medida de seguridad para no dañar alguno de estos circuitos. La prueba se realizó simulando alguna de las terminales del microprocesador, como lo son las terminales de direcciones y las - terminales AS, UDS, LDS, VPA. Se simularon cada una de las direcciones para habilitar los dispositivos, y con la ayuda de un pro bador de lógica, se procuró comprobar que cuando se habilitaba a alguno de los dispositivos (memorias o Puertos), simulando su dirección a través del canal de direcciones, la lógica de decodifi cación habilitaba al dispositivo deseado y a ningún otro. Cabe señalar que al realizar esta prueba no se presentaron falsos contactos en la lógica de decodificación ya que cuando esta se imple mento se cuidó que no hubiera falsos contactos, ésto se logro con el auxilio de un multímetro, y se hizo mediante la medición de la continuidad en las conexiones.

En la prueba de la lógica no se presento ningún problema y esta respondió como se había previsto en el diseño.

Como ya se ha explicado antes, un sistema desarrollado a base de algún microprocesador necesita para su funcionamiento de un programa que supervise sus capacidades. Dicho programa debe - de estar almacenado en memoria PROM, y sin él el sistema jamás o - peraría.

Por lo anterior se desarrollo un pequeño programa moni - tor que demostrara el buen funcionamiento del sistema.

Acerca del desarrollo de este programa se hablará más - adelante en el tema de programación del sistema.

Ya realizada la revisión del programa y con el pleno conocimiento de su buen funcionamiento se intento poner nuevamente en operación al sistema, pero como no funciono se procedió a retirar al microprocesador de su base y del sistema, y se volvieron a simular sus terminales. Esto último se hizo para ver como estaban respondiendo las memorias y los puertos. Se direccionaron algunas localidades de memoria tanto en RAM como ROM, observando en estas últimas si la información que entregaban era compatible con la que debian tener de acuerdo con el programa monitor. En esta última operación no se presentó falla en cuanto a la habilitación de los circuitos, pero se observó que había varios falsos contactos, ya que en el canal de datos no se percibía ninguna información, por lo que con ayuda del multimetro y teniendo cuidado con los circuitos, se probaron algunas conexiones, y despues de varios intentos se logro localizar los falsos contactos, los cuales se debian a las bases de los circuitos de memoria. Para evitar estos falsos en las memorias RAM se conectaron directamente sin sus bases. A las bases de las memorias PROM se les apreto un poco sus entradas y esto permitio que ya no se presentaran falsos contactos en las mismas. Resuelto ya el problema de los falsos contactos en las memorias se volvieron a direccionar a algunas localidades de memoria, por ejemplo las primeras de la memoria PROM, donde comienza el programa monitor, y se observo que en estas efectivamente si se encontraba la información correcta,

Nuevamente se conecto el microprocesador y se energizó al sistema. Como no se vio ninguna información en la terminal, se probaron de nueva cada una de las terminales del procesador con el probador de lógica. Se observo que el procesador estaba direccionando un espacio en el cual no se tiene instalada ninguna memoria, puerto y otro circuito, por lo cual se trato de revisar a la información que se tenia en las memorias 74S288, que es donde se encuentran las localidades que indican al procesador donde debe comenzar la ejecución del monitor. Despues de revisar la información en las memorias varias veces y además de revisar también an la información técnica del procesador acerca de la forma en que comienza a leer las primeras localidades, se

descubrió que se habían grabado las memorias 74S288 de una manera errónea, debiéndose esto, a que en un manual de información del procesador se especificaba de una forma equivocada la manera en que el procesador lee los primeros 8 bytes de memoria. Se volvieron a grabar otras memorias 74S288, ya de la forma correcta, y se energizó al sistema otra vez, pero de nuevo el procesador se encontraba direccionando una localidad fuera de la capacidad instalada.

Después de varias mediciones realizadas al procesador y al sistema en general se encontró que varias patas de su base no estaban haciendo contacto por estar dobladas, lo cual causaba que el procesador direccionara localidades equivocadas. Sustituyendo en varias ocasiones las bases del procesador se logró finalmente que este hiciera buen contacto. Se energizó al sistema y como no se presentó ninguna información en la terminal, se probaron como se había hecho ya en varias ocasiones, las terminales del procesador, a fin de conocer que operación se encontraba realizando este. Particularmente se probó en las terminales FCO, FC1, FC2 del procesador, que indican en que ciclo de ejecución se encuentra éste, y se observó que el procesador estaba realizando un ciclo de lectura en memoria, y no terminaba nunca de realizar este ciclo. Revisando la literatura correspondiente, además del diagrama del sistema, se encontró que no se había alambrado la lógica para generar la señal de DTACK, la cual le va a indicar al microprocesador cuando el dispositivo que habilitó ya ha finalizado un ciclo de lectura o escritura. A falta de esta señal el microprocesador insertaba estados de espera al no responderle ninguno de los dispositivos. Se alambro la lógica para generar la señal DTACK, y al probar las líneas de dirección y de datos se vio que ya había una transferencia de información.

Realizando algunas pruebas más al sistema se encontró que la interfase para comunicación en paralelo (PI/T) estaba funcionando de acuerdo como se había programado, lo cual se supo por que había un patron \$AA (10101010) en su puerto de salida, y esto indicaba como ya se dijo que estaba funcionando como se programo.

Con el funcionamiento de PI/T se concluyo que el micro procesador si estaba ejecutando el programa monitor y por alguna causa desconocida no estaba el sistema comunicándose con la terminal CRT, e inmediatamente se empezó a revisar al puerto de comunicaciones en serie (ACIA) y a la interfase RS232.

Se midió la terminal 6 del Puerto serie, en la cual se efectúa la transmisión de información hacia el exterior, y se observo que se encontraba en un nivel alto, entonces se revisaron los circuitos de la interfase RS232, así como el circuito MC14411, - que es un circuito generador de bauds que tiene como objetivo como ya se ha dicho, de proporcionar la frecuencia de transmisión y recepción del ACIA. No se encontró ninguna falla en el circuito MC14411 como tal. Tratando de encontrar la falla se observó - que al hacer funcionar la fuente de +12 volts la salida de transmisión del ACIA se ponía en alto, y mientras esta no estuviera en operación, el ACIA transmitía información. Por lo anterior se dudó de los circuitos MC1488 y MC1489 e incluso se cambiaron por otros, pero se seguía teniendo el mismo problema, por lo cual se volvió a revisar el alambrado de la RS232 y se encontro un falso contacto en la línea de -12 volts, se eliminó este problema y el sistema comenzo a mandar información formados por arrobas (a). - Se encontro que había un error en la velocidad de transmisión del ACIA debido a una conexión equivocada en el MC14411. Se resolvió este problema y el sistema comenzo a operar normalmente, ejecutando satisfactoriamente el programa monitor.

VII.3 PRUEBAS DE CAMPO.

VII.3.2 Programación (Software)

Como es fácil suponer, las pruebas a las que son sometidos los sistemas digitales inteligentes no se limitan de manera única a la revisión de ciertas magnitudes físicas tales como voltajes y corrientes eléctricas, sino que también deben ser tomadas en consideración parámetros referentes a la programación misma del

sistema, tales como el tiempo de ejecución promedio de una instrucción, tiempo de respuesta de sistema de almacenamiento del programa monitor, ejecución adecuada de una secuencia de instrucciones, etc. Posiblemente nos resulte extraño el hecho de considerar el tiempo de respuesta de algún dispositivo electrónico - dentro de nuestros parámetros de programación, sin embargo no - debemos de olvidar que la programación de un sistema, que en este caso se conoce como software, y el conjunto de dispositivos - electrónicos propios del mismo, a los cuales se les conoce como - hardware, se unen bajo ciertas condiciones específicas dando origen a lo que llamaremos Firmware. Tomando en cuenta lo anterior, llegamos a la conclusión que nuestras pruebas de programación - comprenderan dos áreas diferentes, siendo la primera el depurar y verificar el buen funcionamiento del sistema monitor como programa en sí, para lo cual requeriremos el apoyo de algún otro - sistema similar, siendo la segunda área de interés todas aquellas pruebas efectuadas sobre el sistema mismo que, de alguna manera nos garanticen la interrelación física que existe entre el programa y la circuitería para lo cual requeriremos del firmware propio de éste, entendiéndose que dicho firmware comprende el sector de memoria principal que aloja al programa monitor, que en éste caso viene a ser la memoria UVEPROM. Es importante hacer notar que si bien dentro de dicha memoria no se ejecuta ninguna instrucción, - es en ésta donde radica el bloque maestro de control del sistema, sin el cual éste se encontraría en una situación caótica,

La primera parte de las pruebas de programación consisten en el depurar los errores iniciales existentes dentro de la secuencia de instrucciones que comprenden al sistema monitor. Para poder efectuar dicha depuración se contó con el apoyo del sistema MEX68ECB fabricado por Motorola Inc. División Semiconductores, el cual, presenta una orientación para el desarrollo adecuado del Software necesario en cualquier sistema que cuenta con un microprocesador - del tipo MC 68000.

La fase que inició esta primera etapa consistió en efectuar el ensamblado a lenguaje máquina del conjunto de instrucciones del sistema monitor, dicho ensamblado originalmente se elaboró en forma manual, corroborandolo posteriormente mediante el ensamblador del sistema MEX68ECB. Durante el desarrollo de esta fa

se se logró el depurar gran cantidad de errores existentes en cuanto a la sintaxis propia de cada instrucción. Una vez efectuado lo anterior se procuró que el sistema antes mencionado fuera controlado adecuadamente al instante de ejecutar el programa monitor "MICROS" sin embargo lo anterior no se pudo lograr ya que nuestro programa contaba con errores tanto de desplazamientos así como de direcciones, mismos que en esos momentos fueron depurados. Después de haber efectuado la revisión y corrección de los errores antes comentados, así como la limitación en la medida de lo posible de los errores debidos a los algoritmos empleados. En ese momento el sistema monitor tal como programa se considero en estado de operación, ya que se ejecutaban adecuadamente las cuatro funciones antes propuestas para el mismo. La situación anterior permitió el proceder a la segunda parte de las pruebas de programación, el marco de referencia de esta etapa se encontró alojado en el área comprendida por el firmware del sistema, por lo tanto la descripción de algunas pruebas es similar al encontrado en la sección VII.3.1, ya que en dicha sección se trato la verificación de ciertos parámetros eléctricos, sin embargo en esta sección éstos los consideraremos como información existente en el sistema.

El primer paso dentro de estas pruebas consistió en verificar la correcta decodificación de las memorias PROM-TTL (74Ls288), posteriormente comprobar el contenido de la información presente en las primeras ocho localidades de las mismas, el procedimiento mediante el cual se logro lo anterior corresponde a la simulación del microprocesador, descrita en el tema inmediato anterior. La verificación de estas localidades presenta una gran importancia ya que la información que contienen es ampliamente utilizada durante el procedimiento "bootstrap" que tiene lugar despues de una señal maestra de reestablecimiento. Dicho procedimiento consiste en la captura por parte del microprocesador del contenido de las cuatro primeras localidades de memoria, con el fin de copiarlo en un registro de 32 bits que servira como apuntador de la pila de información del sistema (System Stack Pointer ó S.S.P.) despues de efectuar esto el microprocesador procede a capturar el contenido de las siguientes cuatro celdas de memoria, con el objetivo de

copiarlo en el registro destinado a apuntar la instrucción presente en el programa (dicho registro se conoce como "Contador de Programa" o Program Counter P.C.). Posteriormente, antes de que el microprocesador comience a capturar las instrucciones apuntadas por el contador de programa, éste procede a generar internamente una mascarilla de interrupción correspondiente al nivel 7 (misma que solo puede ser superada por una señal del tipo DMA), situándose además en un estado de lectura, saltando entonces al sector de memoria apuntado.

Una vez que se efectuó la verificación antes descrita al simular al procesador, se procedió a instalar a éste dentro del sistema, retirando la señal DTACK proveniente de las memorias UVEPROM con el fin de insertar estado de espera aplicando entonces una señal maestra de reestablecimiento. El objetivo de esta prueba era comprobar que se efectuara correctamente el procedimiento "bootstrap" situando al microprocesador en una localidad previamente seleccionada (en este caso dicha localidad corresponde a la primera dirección del sistema monitor es decir \$004000). Después de efectuado lo anterior, se procedió a comprobar tanto la decodificación correcta de las memorias UVEPROM, así como su contenido mediante la comparación contra el listado en lenguaje máquina del programa MICROS. El procedimiento empleado es similar al descrito en la sección VII.3.1.

Cuando se compró plenamente el buen funcionamiento del firmware del sistema, se procedió a instalar nuevamente el microprocesador dentro de la computadora, comprobando ahora la existencia del flujo de información hacia los diferentes puertos de salida, mediante la verificación del comportamiento dinámico de los mismos.

Una vez hecho lo anterior la última prueba de esta área consistió en conectar la terminal a emplear y verificar que el programa monitor (mismo que antes había operado correctamente en el sistema MEX68ECB) se encontrara instalado ahora en nuestro sistema ejecutándose correctamente, permitiendo la comunicación entre el sistema y el usuario al poder realizar correctamente las cuatro funciones antes mencionadas.

Por todo lo anterior se llegó a la conclusión que el sistema desarrollado se encontraba efectivamente en estado de operación.

VII.4 COMENTARIOS Y CONCLUSIONES GENERALES

Analizando todo lo que hasta ahora se hizo para desarrollar este proyecto de tesis y comparando con los objetivos que inicialmente se habían propuesto, se puede afirmar que se cumplen estos en su mayor parte.

Al principio se pensaba diseñar el sistema, basando este en la utilización de un microprocesador de 8 bits, pero se tomó la decisión de diseñar la microcomputadora a base de un microprocesador de 16 bits. Uno de los principales motivos por los cuales se tomó tal decisión como ya se había dicho anteriormente fue el deseo por aplicar en el diseño una tecnología más reciente.

Creo que al principio se tomó esta decisión muy a la ligera, ya que no se consideró en ese momento el tiempo que en un momento dado puede exigir un proyecto en el cual se van a utilizar dispositivos de los que no se dispone tan fácilmente en el mercado nacional, además de suceder los mismos con la información técnica de tales dispositivos. Afortunadamente fue posible obtener la información suficiente para realizar el diseño, y también se lograron conseguir los circuitos que se necesitaron.

Con respecto al tiempo que se llevó a realizar todo el proyecto incluyendo este trabajo escrito, creemos que no fue de ninguna manera demasiado prolongado, sino por el contrario, tomando en cuenta las metas propuestas y la decisión de utilizar un microprocesador diferente a los tradicionales de 8 bits, este tiempo se puede considerar aceptable.

Algo importante de comentar es el hecho de que para elegir los circuitos que se iban a utilizar en el diseño se consultaron los manuales respectivos, pero al momento de tratar de adquirir algunos de estos circuitos, nos encontramos con que estaban agotados o que sus fabricantes ya los habían descontinuado, y estos circuitos no se encontraban incluso fuera del país. Por lo anterior creo que para un mejor desarrollo de un proyecto antes de elegir circuitos u otros dispositivos específicos, es recomendable primeramente concebir en forma general lo que se va a necesitar, y corroborar con el mercado que es lo que se puede adquirir y cual va a ser el periodo de tiempo en que será posible tener disponible lo deseado y así tomando en cuenta esto último, se puede tener una me

mejor decisión de acuerdo con las metas que se quieran alcanzar.

Hablando ahora de los problemas que se tuvieron en la implementación y puesta en operación del sistema, de los cuales se puede decir que no fueron muchos y la mayoría de los que se presentaron fueron debido a falsos contactos, se puede afirmar que el no tener muchas fallas más fué gracias al cuidado que se tuvo al albrar el sistema sobre el grupo de tabletas. Una cosa que no se esperaba y que en lo futuro se debe considerar al armar algún circuito es el hecho de que en las bases utilizadas pra los circuitos se pueden presentar falsos contactos, por lo cual si se van a utilizar bases hay que examinar estas en cuanto su calidad, sus características y el contacto que ofrecen.

Otro comentario importante se hacer es con respecto a los procedimientos que se siguen al buscar alguna falla en un sistema, y es que al buscar una falla en un sistema se desconfie del funcionamiento incorrecto de los circuitos cuando ya se hayan agotado otras posibilidades que pudieran ser la causa de la falla del sistema, esto viene a colación ya que al presentarsenos cierta falla en un sector del sistema se desconfio de los circuitos que constituian dicho sector, e incluso se les sustituyo por otros, descubriendo despues que la falla era debido a un falso contacto. Lo anterior no quiere decir que una falla no puede ser el resultado de tener unos circuitos quemados, pero siempre es mejor tomar en cuenta lo anterior.

EDUARDO ALBERTO CASTELLANOS LOPEZ.

Al momento de revisar todas y cada una de las secciones tratadas durante el presente estudio se puede apreciar una gran diversidad de temas que fueron explotados, analizados y comprendidos, con la finalidad de poder realizar el diseño de una microprocomputadora; posiblemente la extensión o la profundidad con que se desarrollo cada tema no sea considerada adecuada por algunos lectores, sin embargo, no debemos olvidar que el objetivo fundamental de este proyecto ha sido y es, el introducirnos y ubicarnos por vez primera dentro de lo que es la facinante área del diseño de los sistemas digitales inteligentes, mediante un prototipo to-

talmente experimental. La tarea nunca fué fácil, ya que desde el surgimiento del proyecto tal como idea, sin planteamiento ni restricciones iniciales, hasta el momento de su culminación, nos enfrentamos a situaciones difíciles tanto de orientación como de instrumentación de ideas, sin embargo, la mayoría de dichas situaciones pudo ser resuelta de manera adecuada en mayor o menor grado. Es importante hacer notar que el factor fundamental para lograr tal o cual solución a un problema no se limitaba al punto de vista técnico, sino más bien al punto de vista del criterio propio de cada persona, viene esto a colación ya que el factor técnico cuenta con gran importancia en un proyecto de electrónica, sin embargo, el criterio del ingeniero de diseño está muy por encima de dicho factor ya que él es quien toma en consideración todos los elementos existentes y plantea una solución específica.

A lo largo del desarrollo de nuestro proyecto, éste sufrió algunas modificaciones y adaptaciones de las ideas originales del diseño, con el fin de adecuarse plenamente tanto a nuestras ambiciones personales, así como a las limitantes de los recursos con que disponíamos; dichos recursos no solo abarcaban a los dispositivos a emplear sino quedaban comprendidos también, el equipo de laboratorio a utilizar, nuestra experiencia en esta clase de proyectos, así como los medios de financiamiento disponibles. Entre las principales modificaciones a las ideas iniciales se puede encontrar el cambio de la selección de un microprocesador de ocho bits (que en nuestro caso venía a ser el Z80 fabricado por Zilog Inc) por uno de 16 bits de palabra, orientándose la selección hacia el modelo MC68000 de la línea de microprocesadores fabricados por la compañía Motorola Inc. Seleccionándose éste último por considerar que dentro de ésta clase de procesadores presentaba las mejores condiciones de versatilidad y disponibilidad en el mercado. Sin embargo al efectuar este cambio, la complejidad del proyecto se vio aumentada puesto que se debió recopilar y estudiar información de reciente aparición en el mercado; en lo tocante al microprocesador en especial se presentó un problema adicional referente a la implementación de un programa de administración general de recursos que fuera adecuado a las necesidades existentes -

dentro de nuestro sistema, situación que complicaba aún más su complejidad, no obstante ésto se procedió al desarrollo de dicho programa, que si bien ejecutaba tan solo algunas cuentas funciones sencillas, permitía mediante su operación determinar si la totalidad del sistema había sido diseñado correctamente y se mantenía a éste físicamente dentro de sus condiciones nominales. Es importante hacer notar que el diseño de la microcomputadora en todo momento se mantuvo sujeto a las limitantes de diseño propuestas, mismas que fueron dictadas después de haber estudiado un gran número de sistemas similares al que se pretendía diseñar, presentandose como ventajas de nuestro sistema respecto a los demas analizados, - la economía tanto en espacio físico como en consumo de energía, - así como una velocidad de operación relativamente alta (8 MHz de reloj maestro y velocidad de transmisión igual a 9600 Bands) y un costo de manufactura relativamente bajo.

Por otra parte, es interesante hacer notar que si bien se efectuaron pruebas de laboratorio sobre el sistema (mismas que ya han sido descritas), con el fin de garantizar su buen funcionamiento, el equipo en el que se contaba para efectuarlas consistia en tres fuentes de D.C. (+5 VDC, +12VDC y -12VDC), 1 multímetro, 27 segmentos de cable niquelado, mismos con que se efectuaron las simulaciones del microprocesador y por último un probador de lógica, que indicaba mediante una combinación de LED's la existencia de niveles tanto altos como bajos de voltaje, así como la presencia de alguna señal pulsante. Tomando en cuenta lo limitado de nuestro equipo se debieron desarrollar pruebas sencillas pero que de manera efectiva indicaron la operación de nuestro sistema.

Los momentos decisivos de las pruebas sobre la implementación efectuada, tuvieron lugar en el instante de conectar la terminal CRT despues de haber efectuado la revisión minuciosa de nuestro sistema, ya que fue en estos cuando precisamente comenzo a operar adecuadamente la computadora diseñada, considerándose que se encontraba en condiciones normales y lista para su operación.

Por todo lo anterior llegamos a la conclusión que los objetivos con que fué planteado este estudio se cumplieron cabalmente dentro de un tiempo que estimamos es el mínimo adecuado.

VII.5 BIBLIOGRAFIA

- 1.- "Motorola Microprocessors Data Manual" Preparado por: Centro de Información técnica de Motorola Inc. Div. Semiconductores. Edición 1981, E.U.A. Ed. Motorola Inc.
- 2.- "A Microprocessor Course" Por Mark E. Fohl.- Ed. Petrocelli Book. New York/Princeton.- 1a. Edición 1979.
- 3.- "68000 Microprocessor Hand book" Por Gerry Kane.- Ed. Osborne Mc. Graw-Hill Berkeley California, 1a. Edición 1981.
- 4.- "An Introduction to Computer Science An Algorithmic Approach" Por: Jean-Paul Trembley, Richard B. Bunt. Ed. Mc. Graw Hill. 2a. Edición 1981.
- 5.- "MC 68000 Article Reprints. Innovative Systems Through Silicon" Autores varios. Preparado por: Centro de Información Técnica de Motorola Inc. Div. Semiconductores. Edición 1981 E.U.A. Ed. Motorola Inc.
- 6.- "Data Communications Techniques and Technologies" Por: Joel Effron. Lifetime Learning Publications. Ed. Wadsworth Inc. Belmont California. 1984.
- 7.- "An Engineering Approach to Digital Design" Por: William I. Fletcher. Ed. Prentice-Hall Inc. Edición 1980.
- 8.- "Digital Electronics" Por: F. Dokter y J. Steinhaver. Ed. Macmillan Press LTD. Colección de libros técnicos de la compañía Philips. Edición 1973.

APPENDICE: A

Conjunto de instrucciones propias del microprocesador HC68000Lxx en este caso no se manifiestan todas las variantes de las mismas solo se indican los diferentes modos de direccionamiento. Por otra parte se anexan las especificaciones electricas del procesador, asi como sus diagramas de tiempos.

DATA ADDRESSING MODES

Mode	Generation
Register Direct Addressing	
24-bit Register Direct	EA = 0h
Address Register Direct	EA = 0h
Absolute Data Addressing	
Absolute Short	EA = Next Word
Absolute Long	EA = Next Two Words
Program Counter Relative Addressing	
Relative with Offset	EA = PC + 01h
Relative with Index and Offset	EA = PC + Xh + 01h
Register Indirect Addressing	
Register Indirect	EA = Rn
Post-increment Register Indirect	EA = Rn; An = An + 1
Pre-increment Register Indirect	EA = An - 1; EA = Rn
Register Indirect with Offset	EA = Rn + 01h
Indexed Register Indirect with Offset	EA = Rn + 01h + 01h
Immediate Data Addressing	
Direct Immediate	DATA = Next Word(s)
Indirect Addressing	
16-bit Register	EA = Rn; LSP; SP; PC

NOTES

- EA = Effective Address
 An = Address Register
 Dn = Data Register
 Rn = Address of Data Register and Instruction Register
 SP = Stack Pointer
 PC = Program Counter
 X = Contents of
- 0 = No Offset
 1 = Increment
 5 = Main Offset
 2 = 1st Byte, 2nd Word and 4th Long Word
 = Register

INSTRUCTION SET

Mnemonic	Description	Operation	Condition Codes			
			X	N	Z	V
ABCD	Add Decimal with Extend	(Destination)10 + (Source)10 = Destination	*	*	*	*
ADD	Add Binary	(Destination)1 + (Source)1 = Destination	*	*	*	*
ADDA	Add Address	(Destination)1 + (Source)1 = Destination	*	*	*	*
ADDI	Add Immediate	(Destination)1 + Immediate Data = Destination	*	*	*	*
ADDD	Add Double	(Destination)1 + Immediate Data = Destination	*	*	*	*
ADDX	Add Extended	(Destination)1 + (Source)1 + X = Destination	*	*	*	*
AND	AND Logical	(Destination)1 + (Source)1 = Destination	*	*	*	0
ANDI	AND Immediate	(Destination)1 + Immediate Data = Destination	*	*	*	0
ASL, ASR	Arithmetic Shift	(Destination) Shifted by 1 count = Destination	*	*	*	0
BCC	Branch Conditional	if CC then PC + d = PC	*	*	*	*
BCHG	Test a Bit and Change	if (bit number) of Destination = 1 set (bit number) of Destination = 0 if (bit number) of Destination = 0 set (bit number) of Destination = 1	*	*	*	*
BCLR	Test a Bit and Clear	if (bit number) of Destination = 1 set (bit number) of Destination = 0 if (bit number) of Destination = 0 set (bit number) of Destination = 0	*	*	*	*
BRA	Branch Always	PC + d = PC	*	*	*	*
BSET	Test a Bit and Set	if (bit number) of Destination = 1 set (bit number) of Destination = 1 if (bit number) of Destination = 0 set (bit number) of Destination = 1	*	*	*	*
BSR	Branch to Subroutine	PC = SP; PC + d = PC	*	*	*	*
BTST	Test a Bit	if (bit number) of Destination = 1 set (bit number) of Destination = 1 if (bit number) of Destination = 0 set (bit number) of Destination = 0	*	*	*	U
CHK	Check Register against Bound	if (Rn - CD) or (Rn - KB) then TRAP	*	*	*	U
CLR	Clear an Octet(s)	D = Destination	*	*	0	0
CMPI	Compare	(Destination) - (Source)	*	*	*	*
CMPIA	Compare Address	(Dest. Addr) - (Source)	*	*	*	*
CMPII	Compare Immediate	(Destination) - Immediate Data	*	*	*	*
CMPIW	Compare Memory	(Destination) - (Source)	*	*	*	*
DBCC	Test Condition and Branch	if CC then Dn - 1 = Dn; Dn - 1 then PC + d = PC	*	*	*	*
DNVS	Signed Divide	(Destination) / (Source) = Destination	*	*	*	0
DNVU	Unsigned Divide	(Destination) / (Source) = Destination	*	*	*	0
EXR	Exclusive OR Logical	(Destination) ⊕ (Source) = Destination	*	*	*	0
EXRI	Exclusive OR Immediate	(Destination) ⊕ Immediate Data = Destination	*	*	*	0
EXG	Exchange Register	Rn ↔ Rm	*	*	*	*
EXT	Sign Extend	(Destination) Sign extended = Destination	*	*	*	0
JMP	Jump	Destination = PC	*	*	*	*
JSR	Jump to Subroutine	PC = SP; PC = Destination - PC	*	*	*	*
LEA	Load Effective Address	Destination = An	*	*	*	*
LINK	Link and Allocate	An = SP; SP = An; SP + d = SP	*	*	*	*
LST, LSR	Logical Shift	(Destination) Shifted by 1 count = Destination	*	*	*	0
MOVE	Move Data from Source to Destination	(Source) = Destination	*	*	*	0
MOVE to CCR	Move to Condition Code Register	(Source) = CCR	*	*	*	*
MOVE to SR	Move to Status Register	(Source) = SR	*	*	*	*

* affected
 unaffected 0 set 1 set U undefined



MOTOROLA Semiconductor Products Inc.

INSTRUCTION SET (CONT.)

Mnemonic	Description	Operation	Condition Codes					
			X	N	Z	V	C	
MOVE from SR	Move from the Status Register	SR = Destination	-	-	-	-	-	-
MOVE LSP	Move User Stack Pointer	LSP = AN, AN = USP	-	-	-	-	-	-
MOVEA	Move Address	Source = Destination	-	-	-	-	-	-
MOVEM	Move Multiple Registers	Registers = Destination Source = Registers	-	-	-	-	-	-
MOVEP	Move Peripheral Data	Source = Destination	-	-	-	-	-	-
MOVLQ	Move Quad	Immediate Data = Destination	-	-	-	-	-	-
MULS	Signed Multiply	(Destination) * Source = Destination	-	-	-	0	0	0
MULU	Unsigned Multiply	(Destination) * Source = Destination	-	-	-	0	0	0
NBCD	Negate Decimal with Extend	0 = Destination; 010 = Destination	-	-	-	U	U	-
NEG	Negate	0 = Destination = Destination	-	-	-	-	-	-
NLZ	Negate with Extend	0 = Destination; 010 = Destination	-	-	-	-	-	-
NOP	No Operation		-	-	-	-	-	-
NOT	Logical Complement	Destination = Destination	-	-	-	0	0	0
OR	Inclusive OR Logical	(Destination) Source = Destination	-	-	-	0	0	0
ORI	Inclusive OR Immediate	Destination Immediate Data = Destination	-	-	-	0	0	0
PEA	Push Effective Address	Destination = SP	-	-	-	-	-	-
RESET	Reset External Devices		-	-	-	-	-	-
R0, R0C	Rotate without Extend	Destination Rotated by Count = Destination	-	-	-	0	1	-
ROL R0C	Rotate with Extend	(Destination) Rotated by Count = Destination	-	-	-	0	1	-
RTI	Return from Exception	SP = UA, SP = PC	-	-	-	-	-	-
RTM	Return and Restore Condition Code	SP = CC, SP = PC	-	-	-	-	-	-
RTS	Return from Subroutine	SP = PC	-	-	-	-	-	-
SRD	Shift Register with Extend	Destination > (Source) < X = Destination	-	-	-	U	U	-
SRC	Set According to Condition	CC then 1 = Destination or 0 = Destination	-	-	-	-	-	-
SDOP	Load SRD, SP, USP, and SR	Immediate Data = SR, SDOP	-	-	-	-	-	-
SRB	Shift Right Byte	(Destination) Shifted Right by 1 = Destination	-	-	-	-	-	-
SRA	Shift Right Arithmetic	(Destination) Shifted Right by 1 = Destination	-	-	-	-	-	-
SRL	Shift Right Logical	(Destination) Shifted Right by 1 = Destination	-	-	-	-	-	-
SRO	Shift Right Quad	(Destination) Shifted Right by 1 = Destination	-	-	-	-	-	-
SRRB	Shift Right with Extend	Destination; Source = Destination	-	-	-	-	-	-
SWAP	Swap Register Values	Register(1) = Register(2); Register(2) = Register(1)	-	-	-	0	0	0
AS	Test and Set on Condition	(Destination) Tested = 0 = 1; 1 = 0; Destination	-	-	-	-	-	0
ASP	Test and Set on PC	PC = SP = SR = LSP; LSP = PC	-	-	-	-	-	0
TRAP	Trap to Overflow	PC = TRAP	-	-	-	-	-	-
TRAP	Trap to Exception	PC = Exception	-	-	-	-	-	-
TRST	Test an Operand	(Destination) Tested = 0 = 1	-	-	-	0	0	0
UNLZ	Unsign	AN = SP; SP = AN	-	-	-	-	-	-

AC ELECTRICAL SPECIFICATIONS (V_{DD} = 5.0 Vdc ± 5% V_{SS} = 0 Vdc T_A = 25°C)

Number	Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Units
1	Clock Period	TCYC	-	128	-	ns
2	Clock Width Low	CLL	-	58	-	ns
3	Clock Width High	CLH	-	58	-	ns
4	Clock Fall Time	CLF	-	-	10	ns
5	Clock Rise Time	CLR	-	-	10	ns
6	Check Low to Address FC Valid	FLAV	-	70	-	ns
7	Check High to Address FC High Impedance (t _{max})	GHZL	-	70	-	ns
8	Check High to Address FC Invalid (t _{max})	GHZL	-	70	-	ns
9	Check High to AS, DS Low (t _{max})	GHZL	-	60	-	ns
10	Check High to AS, DS Low (t _{min})	GHZL	-	70	-	ns
11	Address FC Valid to AS, DS Read Low	AVL	-	30*	-	ns
12	Check Low to AS, DS High	CLSH	-	40	-	ns
13	AS, DS High to Address FC Invalid	SHZL	-	40*	-	ns
14	AS, DS Wash Low (t _{max})	SL	-	150	-	ns
15	AS, DS Wash High	SH	-	150	-	ns
16	Check High to AS, DS High Impedance	CHZL	-	60	-	ns
17	DS High to R, W High	SHZH	-	60*	-	ns
18	Check High to R, W High (t _{max})	CHZH	-	60	-	ns
19	Check High to R, W High (t _{min})	CHZH	-	70	-	ns
20	Check High to R, W Low	CHLH	-	60	-	ns
21	Address FC Valid to R, W Low	AVL	-	50*	-	ns
22	R, W Low to DS (Low level)	WLHL	-	80*	-	ns
23	Check Low to Data Out Valid	CLDO	-	50	-	ns
24	Check High to R, W VMA High Impedance	CHZH	-	60	-	ns
25	DS High to Data Out Invalid	SHDO	-	30*	-	ns
26	Data Out Valid to DS Low level	ODSL	-	30*	-	ns
27	Data In to Check Low, Set Up Time	DIDL	-	30	-	ns
28	DS High to DTALK High	SHDH	0	120	-	ns
29	DS High to Data In (t _{max})	SHDI	0	-	-	ns
30	AS, DS High to BTRH High	SHBH	0	-	-	ns
31	DTALK Low to Data In (t _{max})	DIDL	-	30*	-	ns
32	WALE and RESET Input Transition Time	WALT	-	-	220	ns
33	Check High to BS Low	CHLH	-	40	-	ns
34	Check High to BS High	CHGH	-	60	-	ns
35	BS Low to BS Low	BLHL	1.5	-	3.0	cm per cent
36	BS High to BS High	BLGH	1.5	-	3.0	cm per cent
37	BSACK Low to BS High	BSLGH	1.5	-	3.0	cm per cent
38	BS Low to BS High Impedance (with IS High)	BLZ	0	-	-	cm per cent
39	BS High to BS High	BHGH	1.5	-	3.0	cm per cent
40	BS High to BS Low	BHLH	-	60	-	ns
41	Check 1 to E Transition	CLLE	-	55	-	ns
42	E 0 to 1 Rise and Fall Time	ET	-	-	25	ns
43	VMA Low to E High	VMLHE	2.0	-	3.0	cm per cent
44	AS, DS High to BS High	SHBH	0	-	-	ns

*Actual value dependent upon actual clock period. These figures are listed on B block carrier.

APENDICE B

Listado general del sistema maestro de administración de recursos denominado Program Monitor Micros Nivel 1.0, mismo que ejecuta las funciones descritas en este estudio.

La primera columna de caracteres corresponde a la dirección de la memoria en que se encuentra la instrucción, la siguiente columna corresponde al código de la instrucción (en hexadecimal), presentandose dentro de la última columna el nemotécnico asociado a esa misma instrucción.

004000	11F0002000	MOVE.B	#00, #00002041
004001	4E71	NOP	
004002	11F0001B2017	MOVE.B	#27, #00002043
004003	4E71	NOP	
004004	11F000002045	MOVE.D	#0, #00002045
004005	4E71	NOP	
004006	11F0000FF1047	MOVE.B	#255, #00002047
004007	4E71	NOP	
004008	11F0002B2049	MOVE.D	#40, #00002049
004009	4E71	NOP	
00400A	11F00046204B	MOVE.D	#64, #0000204B
00400B	4E71	NOP	
00400C	11F00000204D	MOVE.B	#0, #0000204D
00400D	4E71	NOP	
00400E	11F00046204F	MOVE.B	#64, #0000204F
00400F	4E71	NOP	
004010	11F000422053	MOVE.D	#64, #00002053
004011	4E71	NOP	
004012	11F000F62057	MOVE.B	#255, #00002057
004013	4E71	NOP	
004014	11F000FF2059	MOVE.B	#255, #00002059
004015	4E71	NOP	
004016	11F000FF205B	MOVE.B	#255, #0000205B
004017	4E71	NOP	
004018	11F00044205D	MOVE.B	#65, #0000205D
004019	4E71	NOP	
00401A	11F00000205F	MOVE.D	#0, #0000205F
00401B	4E71	NOP	
00401C	11F000002061	MOVE.D	#0, #00002061
00401D	4E71	NOP	
00401E	11F000002063	MOVE.D	#0, #00002063
00401F	4E71	NOP	
004020	11F000002065	MOVE.D	#0, #00002065
004021	4E71	NOP	
004022	11F000002067	MOVE.D	#0, #00002067
004023	4E71	NOP	
004024	11F000002069	MOVE.D	#0, #00002069
004025	4E71	NOP	
004026	11F00000206B	MOVE.D	#0, #0000206B
004027	4E71	NOP	
004028	11F00000206D	MOVE.D	#0, #0000206D
004029	4E71	NOP	
00402A	11F00000206F	MOVE.D	#0, #0000206F
00402B	4E71	NOP	
00402C	11F000002071	MOVE.D	#0, #00002071
00402D	4E71	NOP	
00402E	11F000002073	MOVE.D	#0, #00002073
00402F	4E71	NOP	
004030	11F000002075	MOVE.D	#0, #00002075
004031	4E71	NOP	
004032	11F000002077	MOVE.D	#0, #00002077
004033	4E71	NOP	
004034	11F000002079	MOVE.D	#0, #00002079
004035	4E71	NOP	
004036	11F00000207B	MOVE.D	#0, #0000207B
004037	4E71	NOP	
004038	11F00000207D	MOVE.D	#0, #0000207D
004039	4E71	NOP	
00403A	11F00000207F	MOVE.D	#0, #0000207F
00403B	4E71	NOP	
00403C	11F000002081	MOVE.D	#0, #00002081
00403D	4E71	NOP	
00403E	11F000002083	MOVE.D	#0, #00002083
00403F	4E71	NOP	
004040	11F000002085	MOVE.D	#0, #00002085
004041	4E71	NOP	
004042	11F000002087	MOVE.D	#0, #00002087
004043	4E71	NOP	
004044	11F000002089	MOVE.D	#0, #00002089
004045	4E71	NOP	
004046	11F00000208B	MOVE.D	#0, #0000208B
004047	4E71	NOP	
004048	11F00000208D	MOVE.D	#0, #0000208D
004049	4E71	NOP	
00404A	11F00000208F	MOVE.D	#0, #0000208F
00404B	4E71	NOP	
00404C	11F000002091	MOVE.D	#0, #00002091
00404D	4E71	NOP	
00404E	11F000002093	MOVE.D	#0, #00002093
00404F	4E71	NOP	
004050	11F000002095	MOVE.D	#0, #00002095
004051	4E71	NOP	
004052	11F000002097	MOVE.D	#0, #00002097
004053	4E71	NOP	
004054	11F000002099	MOVE.D	#0, #00002099
004055	4E71	NOP	
004056	11F00000209B	MOVE.D	#0, #0000209B
004057	4E71	NOP	
004058	11F00000209D	MOVE.D	#0, #0000209D
004059	4E71	NOP	
00405A	11F00000209F	MOVE.D	#0, #0000209F
00405B	4E71	NOP	
00405C	11F0000020A1	MOVE.D	#0, #000020A1
00405D	4E71	NOP	
00405E	11F0000020A3	MOVE.D	#0, #000020A3
00405F	4E71	NOP	
004060	11F0000020A5	MOVE.D	#0, #000020A5
004061	4E71	NOP	
004062	11F0000020A7	MOVE.D	#0, #000020A7
004063	4E71	NOP	
004064	11F0000020A9	MOVE.D	#0, #000020A9
004065	4E71	NOP	
004066	11F0000020AB	MOVE.D	#0, #000020AB
004067	4E71	NOP	
004068	11F0000020AD	MOVE.D	#0, #000020AD
004069	4E71	NOP	
00406A	11F0000020AF	MOVE.D	#0, #000020AF
00406B	4E71	NOP	
00406C	11F0000020B1	MOVE.D	#0, #000020B1
00406D	4E71	NOP	
00406E	11F0000020B3	MOVE.D	#0, #000020B3
00406F	4E71	NOP	
004070	11F0000020B5	MOVE.D	#0, #000020B5
004071	4E71	NOP	
004072	11F0000020B7	MOVE.D	#0, #000020B7
004073	4E71	NOP	
004074	11F0000020B9	MOVE.D	#0, #000020B9
004075	4E71	NOP	
004076	11F0000020BB	MOVE.D	#0, #000020BB
004077	4E71	NOP	
004078	11F0000020BD	MOVE.D	#0, #000020BD
004079	4E71	NOP	
00407A	11F0000020BF	MOVE.D	#0, #000020BF
00407B	4E71	NOP	
00407C	11F0000020C1	MOVE.D	#0, #000020C1
00407D	4E71	NOP	
00407E	11F0000020C3	MOVE.D	#0, #000020C3
00407F	4E71	NOP	
004080	11F0000020C5	MOVE.D	#0, #000020C5
004081	4E71	NOP	
004082	11F0000020C7	MOVE.D	#0, #000020C7
004083	4E71	NOP	
004084	11F0000020C9	MOVE.D	#0, #000020C9
004085	4E71	NOP	
004086	11F0000020CB	MOVE.D	#0, #000020CB
004087	4E71	NOP	
004088	11F0000020CD	MOVE.D	#0, #000020CD
004089	4E71	NOP	
00408A	11F0000020CF	MOVE.D	#0, #000020CF
00408B	4E71	NOP	
00408C	11F0000020D1	MOVE.D	#0, #000020D1
00408D	4E71	NOP	
00408E	11F0000020D3	MOVE.D	#0, #000020D3
00408F	4E71	NOP	
004090	11F0000020D5	MOVE.D	#0, #000020D5
004091	4E71	NOP	
004092	11F0000020D7	MOVE.D	#0, #000020D7
004093	4E71	NOP	
004094	11F0000020D9	MOVE.D	#0, #000020D9
004095	4E71	NOP	
004096	11F0000020DB	MOVE.D	#0, #000020DB
004097	4E71	NOP	
004098	11F0000020DD	MOVE.D	#0, #000020DD
004099	4E71	NOP	
00409A	11F0000020DF	MOVE.D	#0, #000020DF
00409B	4E71	NOP	
00409C	11F0000020E1	MOVE.D	#0, #000020E1
00409D	4E71	NOP	
00409E	11F0000020E3	MOVE.D	#0, #000020E3
00409F	4E71	NOP	
0040A0	11F0000020E5	MOVE.D	#0, #000020E5
0040A1	4E71	NOP	
0040A2	11F0000020E7	MOVE.D	#0, #000020E7
0040A3	4E71	NOP	
0040A4	11F0000020E9	MOVE.D	#0, #000020E9
0040A5	4E71	NOP	
0040A6	11F0000020EB	MOVE.D	#0, #000020EB
0040A7	4E71	NOP	
0040A8	11F0000020ED	MOVE.D	#0, #000020ED
0040A9	4E71	NOP	
0040AA	11F0000020EF	MOVE.D	#0, #000020EF
0040AB	4E71	NOP	
0040AC	11F0000020F1	MOVE.D	#0, #000020F1
0040AD	4E71	NOP	
0040AE	11F0000020F3	MOVE.D	#0, #000020F3
0040AF	4E71	NOP	
0040B0	11F0000020F5	MOVE.D	#0, #000020F5
0040B1	4E71	NOP	
0040B2	11F0000020F7	MOVE.D	#0, #000020F7
0040B3	4E71	NOP	
0040B4	11F0000020F9	MOVE.D	#0, #000020F9
0040B5	4E71	NOP	
0040B6	11F0000020FB	MOVE.D	#0, #000020FB
0040B7	4E71	NOP	
0040B8	11F0000020FD	MOVE.D	#0, #000020FD
0040B9	4E71	NOP	
0040BA	11F0000020FF	MOVE.D	#0, #000020FF
0040BB	4E71	NOP	
0040BC	11F000002101	MOVE.D	#0, #00002101
0040BD	4E71	NOP	
0040BE	11F000002103	MOVE.D	#0, #00002103
0040BF	4E71	NOP	
0040C0	11F000002105	MOVE.D	#0, #00002105
0040C1	4E71	NOP	
0040C2	11F000002107	MOVE.D	#0, #00002107
0040C3	4E71	NOP	
0040C4	11F000002109	MOVE.D	#0, #00002109
0040C5	4E71	NOP	
0040C6	11F00000210B	MOVE.D	#0, #0000210B
0040C7	4E71	NOP	
0040C8	11F00000210D	MOVE.D	#0, #0000210D
0040C9	4E71	NOP	
0040CA	11F00000210F	MOVE.D	#0, #0000210F
0040CB	4E71	NOP	
0040CC	11F000002111	MOVE.D	#0, #00002111
0040CD	4E71	NOP	
0040CE	11F000002113	MOVE.D	#0, #00002113
0040CF	4E71	NOP	
0040D0	11F000002115	MOVE.D	#0, #00002115
0040D1	4E71	NOP	
0040D2	11F000002117	MOVE.D	#0, #00002117
0040D3	4E71	NOP	
0040D4	11F000002119	MOVE.D	#0, #00002119
0040D5	4E71	NOP	
0040D6	11F00000211B	MOVE.D	#0, #0000211B
0040D7	4E71	NOP	
0040D8	11F00000211D	MOVE.D	#0, #0000211D
0040D9	4E71	NOP	
0040DA	11F00000211F	MOVE.D	#0, #0000211F
0040DB	4E71	NOP	
0040DC	11F000002121	MOVE.D	#0, #00002121
0040DD	4E71	NOP	
0040DE	11F000002123	MOVE.D	#0, #00002123
0040DF	4E71	NOP	
0040E0	11F000002125	MOVE.D	#0, #00002125
0040E1	4E71	NOP	
0040E2	11F000002127	MOVE.D	#0, #00002127
0040E3	4E71	NOP	
0040E4	11F000002129	MOVE.D	#0, #00002129
0040E5	4E71	NOP	
0040E6	11F00000212B	MOVE.D	#0, #0000212B
0040E7	4E71	NOP	
0040E8	11F00000212D	MOVE.D	#0, #0000212D
0040E9	4E71	NOP	
0040EA	11F00000212F	MOVE.D	#0, #0000212F
0040EB	4E71	NOP	
0040EC	11F000002131	MOVE.D	#0, #00002131
0040ED	4E71	NOP	
0040EE	11F000002133	MOVE.D	#0, #00002133
0040EF	4E71	NOP	
0040F0	11F000002135	MOVE.D	#0, #00002135
0040F1	4E71	NOP	
0040F2	11F000002137	MOVE.D	#0, #00002137
0040F3	4E71	NOP	
0040F4	11F000002139	MOVE.D	#0, #00002139
0040F5	4E71	NOP	
0040F6	11F00000213B	MOVE.D	#0, #0000213B
0040F7	4E71	NOP	
0040F8	11F00000213D	MOVE.D	#0, #0000213D
0040F9	4E71	NOP	
0040FA	11F00000213F	MOVE.D	#0, #0000213F
0040FB	4E71	NOP	
0040FC	11F000002141	MOVE.D	#0, #00002141
0040FD	4E71	NOP	
0040FE	11F000002143	MOVE.D	#0, #00002143
0040FF	4E71	NOP	

004092	207C00004740	MOVE.L	#18240, #0
004093	4EBB409E	JSR	#0000409E
00409C	601B	BRA.B	#0040B6
00409E	082B00012FF1	BTST	#1, #00003FF1
0040A4	4E71	NOP	
0040A6	67F6	BEQ.S	#00409E
0040AB	101B	MOVE.B	(A0)+, #0
0040AA	11C03FF3	MOVE.B	D0, #00003FF3
0040AE	4E71	NOP	
0040B0	53B1	SUBO.L	#1, D1
0040B2	66EA	BNE.S	#00409E

004166	15100014	MOVE.B #20,D3	004238	4EFA40B6	JMP #0000409A
00416A	7206	MOVED.L #6,D1	00423C	4E75	RTS
00416C	42B2	CLR.L D2	00423E	42B1	CLR.L D1
00416E	1011	MOVE.B (A1),D0	004240	123C0007	MOVE.B #7,D1
004170	141F	MOVE.B (A1)+,D2	004244	207C000047F3	MOVE.L #18419, A0
004172	08B20007	BCLR BCLR #7,D2	004248	4EB8407E	JSR #0000409E
004174	E808	LSR.B #4,D0	00424C	207C00000918	MOVE.L #232B, A0
004176	08B00003	BCLR BCLR #3,D0	004254	4EB0413C	JSR #00004132
00417C	0C000003	CMP.B #3,D0	004258	247C00000918	MOVE.L #232B, A2
004180	6722	BEQ.S #0,IA4	00425E	227C00000918	MOVE.L #232B, A1
004182	0C000004	CMP.B #4,D0	004264	4EBB415E	JSR #0000415E
004184	6708	BEQ.S #004190	004268	2E04	MOVE.L #0000415E
004188	4EB841CA	JSR #000041CA	00426A	4EBB4204	JSR #00004204
00418C	4EFB40B6	JMP #000040B6	00426E	083B00013FF1	BTST #1, #00003FF1
004190	04020037	SUB.B #55,D2	004274	4E71	NOP
004194	0C00000E	CMP.B #15,D2	004278	67FA	BEQ.S #00426E
004198	5F0A	BLE.S #0041A4	00427D	11FC000D7FF3	MOVE.B #13, #00003FF3
00419A	4EBB41CA	JSR #000041CA	00427E	4E71	NOP
00419E	4E71	NOP	004280	083B00013FF1	BTST #1, #00003FF1
0041A0	4EFA40B6	JMP #000040B6	004284	4E71	NOP
0041A2	08B20007	BCLR BCLR #7,D2	004288	67FA	BEQ.S #004280
0041A4	08B20006	BCLR BCLR #6,D2	00428A	11FC000A3FF3	MOVE.B #10, #00003FF3
0041A6	08B20007	BCLR BCLR #7,D2	004290	4E71	NOP
0041A8	08B20006	BCLR BCLR #6,D2	004292	2644	MOVE.L #6, A3
0041AA	08B20007	BCLR BCLR #7,D2	004294	2008	MOVE.L #C, D0
0041AC	E7AA	LSL.L #7,D4	004296	4EBB41CE	JSR #000041CE
0041AE	D862	ADD.L #7,D4	004298	227C00000918	MOVE.L #18419, A0
0041B0	5799	SUB.L #7,D4	00429C	42B1	CLR.L D1
0041B2	0C00000E	CMP.L #0, D0	0042A2	7206	MOVED.L #6, D1
0041B4	6706	BEQ.S #0041C3	0042A4	083B00013FF1	BTST #1, #00003FF1
0041B6	4E71	NOP	0042A8	4E71	NOP
0041B8	5381	SUB.L #1, D1	0042AC	67FA	BEQ.S #0042A4
0041BA	66A4	BNE.S #00416C	0042B0	11FC000A3FF3	MOVE.B #6, #00003FF3
0041BC	4E75	RTS	0042B4	4E71	NOP
0041C0	42B1	CLR.L D1	0042B6	083B00013FF1	BTST #1, #00003FF1
0041C2	127C0010	MOVE.B #19, D1	0042BC	4E71	NOP
0041C4	207C000047C5	MOVE.L #18377, A0	0042BE	67FA	BEQ.S #0042B6
0041C6	4EBB407E	JSR #0000407E	0042C0	1019	MOVE.B (A1)+, D0
0041C8	20A8	MOVE.L #C, A0	0042C2	11C03FF3	MOVE.B #0, #00003FF3
0041CA	42B1	CLR.L D1	0042C4	4E71	NOP
0041CC	7206	MOVED.L #6, D1	0042C6	6E7A	SUB.L #1, D1
0041CE	083B00013FF1	BTST #1, #00003FF1	0042C8	5381	BEQ.S #0042C6
0041E0	4E71	NOP	0042CA	083B00013FF1	BTST #1, #00003FF1
0041E2	67FA	BEQ.S #0041C0	0042CC	4E71	NOP
0041E4	1119	MOVE.S #0041E3	0042D0	67FA	BEQ.S #0042CC
0041E6	11C03FF3	MOVE.P #0, #00003FF3	0042D4	11FC000A3FF3	MOVE.B #5B, #00003FF3
0041E8	4E71	NOP	0042DC	4E71	NOP
0041EA	5381	SUB.L #1, D1	0042DE	1281	CLR.L D1
0041EC	66EA	BNE.S #0041E0	0042E0	127C0009	MOVE.B #6, D1
0041EE	4E75	RTS	0042E4	42B1	CLR.L D3
0041F0	7204	MOVE.L #4, D0	0042E8	42B4	CLR.L D4
0041F2	4EBB407E	JSR #0000407E	0042EC	1613	MOVE.B (A3)+, D1
0041F4	4EFB40B6	JMP #000040B6	0042EE	181B	MOVE.B (A2)+, D1
0041F6	4E71	NOP	0042F0	2B08	LSR.S #4, D3
0041F8	127C0009	MOVE.B #6, D1	0042F4	0C003009	CMP.B #9, D3
0041FA	127C0009	MOVE.L #18377, A0	0042F8	6F1E	BLE.S #0042F4
0041FC	083B00013FF1	JSR #00003FF1	0042FA	4E71	NOP
0041FE	4E71	NOP	0042FC	6A2FA	MOVE.L #D3
004200	3C	BEQ.L #0, IA4	0042FE	143C0077	MOVE.B #53, D
004202	5799	BEQ.S #0000F3, D0	004300	143C	ADD.L #C, D0
004204	4E71	NOP	004302	083B00013FF1	BTST #1, #00003FF1
004206	083B00013FF1	BTST #1, #00003FF1	004304	4E71	NOP
004208	4E71	NOP	004306	67FA	BEQ.S #0042FE
00420A	083B00013FF1	BTST #1, #00003FF1	004308	11C33FF3	MOVE.B #D3, #00003FF3
00420C	4E71	NOP	00430C	4E71	NOP

004310	4E71	NOP	0043E2	2200	MOVE.L	D0, D1
004312	42B5	CLR.L	0043E4	54A9	LAR.L	D2, D1
004314	1A3C0030	MOVE.B	0043E6	08B10004	BCLR	#4, D1
004318	DA03	ADD.B	0043E8	08B10005	BCLR	#5, D1
00431A	08280001FFF1	BTST	0043EE	08B10006	BCLR	#6, D1
004320	4E71	NOP	0043F2	08B10007	BCLR	#7, D1
004322	67FA	BEQ.S	0043F4	0C010009	CHP.B	#9, D1
004324	11C57071	MOVE.B	0043FA	4F10	BLE.B	#00440C
004328	4E71	NOP	0043FC	4E71	NOP	
00432A	08B40034	BCLR	0043FE	08B10037	ASC.D	#55, D1
00432E	08B40035	BCLR	004402	10C1	MOVE.B	D1, (D0)+
004332	08B40036	BCLR	004404	59B2	SUBD.L	#4, D2
004336	08B40037	BCLR	004406	53B3	SUBD.L	#1, D3
00433A	0C040039	CHP.B	004408	66D8	RNE.S	#0043E2
00433E	4E71	NOP	00440A	4E75	RTS	
004342	42B5	CLR.L	00440C	08B10030	ADD.B	#48, D1
004344	1A3C0037	MOVE.B	004410	4E7B4402	JMP	#0004402
004348	DA04	ADD.B	004414	42B1	CLR.L	D1
00434A	08280001FFF1	BTST	004416	133C0016	MOVE.L	#22, D1
004350	4E71	NOP	00441A	207C000047FD	MOVE.L	#18420, A0
004352	67FB	BEQ.S	004420	4EBB405E	JSR	#000409E
004354	11C53FF3	MOVE.B	004424	207C00000910	MOVE.L	#2320, A0
004358	4E71	NOP	00442A	4EBB4132	JSR	#0004132
00435A	6013	AND.S	00442E	227C00000910	MOVE.L	#2320, A1
00435C	4235	CLR.L	004434	247C00000910	MOVE.L	#2320, A2
00435E	1A3C0039	MOVE.B	00443A	4EBB415E	JSR	#000415E
004362	DA04	ADD.B	00443E	2C04	MOVE.L	D4, D6
004364	08280001FFF1	BTST	004440	4EBB4204	JSR	#0004204
00436A	4E71	NOP	004444	42B1	CLR.L	D1
00436C	67FB	BEQ.S	004446	127C0007	MOVE.B	#7, D1
00436E	11C53FF3	MOVE.B	00444A	207C000047FD	MOVE.L	#18419, A0
004372	4E71	NOP	004450	4EBB405E	JSR	#000409E
004374	5EBB	CHP.L	004454	207C00000910	MOVE.L	#2320, A0
004376	67000024	BEQ.L	00445A	4EBB4132	JSR	#0004132
00437A	4EBB43D0	JSR	00445E	227C00000910	MOVE.L	#2320, A1
00437E	53B1	SUBD.L	004464	2149	MOVE.L	A1, A2
004380	6600FF52	SHR.L	004466	4EBB415E	JSR	#000415E
004384	08280001FFF1	BTST	00446A	2E04	MOVE.L	D4, D7
004388	4E71	NOP	00446C	4EBB4204	JSR	#0004204
00438C	67FA	BEQ.S	004470	08280001FFF1	BTST	#1, #00003FF1
004390	11FC0001FFF3	MOVE.B	004476	4E71	NOP	
004394	4E71	NOP	00447A	11FC00003FF3	BEQ.S	#004470
004398	08280001FFF1	BTST	004480	4E71	MOVE.B	#13, #00003FF3
00439C	4E71	NOP	004482	08280001FFF1	BTST	A1, #00003FF1
00439E	67FA	BEQ.S	004484	4E71	NOP	
0043A0	11FC00003FF3	MOVE.B	00448A	67FB	BEQ.S	#004470
0043A4	4E71	NOP	00448C	11FC00003FF3	MOVE.B	D10, #00003FF3
0043A8	4E7B4294	JMP	004492	4E71	NOP	
0043AC	4E7B4294	JMP	004494	2E04	MOVE.L	D5, A3
0043B0	42B2	CLR.L	004496	2E08	MOVE.L	A3, D0
0043B2	142C0038	MOVE.B	004498	4E7B4294	JSR	#000043CE
0043B6	08280001FFF1	BTST	00449C	227C00000910	MOVE.L	#2336, A1
0043BC	4E71	NOP	0044A2	42B1	CLR.L	D1
0043BE	67FA	BEQ.S	0044A4	7205	MOVEC.L	#6, D1
0043C0	11FC00003FF3	MOVE.B	0044A6	08280001FFF1	BTST	#1, #00003FF1
0043C2	4E71	NOP	0044AC	4E71	NOP	
0043C4	5E7A	CHP.L	0044AE	67FB	BEQ.S	#0044A6
0043C6	4E7B	MOVE.B	0044B0	11FC0001FFF3	MOVE.B	#36, #00003FF3
0043CA	4E7B	MOVE.B	0044B6	4E71	NOP	
0043CE	42B1	CLR.L	0044B8	08280001FFF1	BTST	#1, #00003FF1
0043D0	42B2	CLR.L	0044BE	4E71	NOP	
0043D2	42B3	CLR.L	0044C0	67FA	BEQ.S	#0044B8
0043D4	142C0038	MOVE.B	0044C2	11D93FF1	MOVE.B	(A1)+, #00003FF3
0043D8	207C00000910	MOVE.L	0044C6	4E71	NOP	

0044CB	5381	NOPE	#1,00003FF1
0044CA	66EC	BNE.S	#0448B, #1,00003FF1
0044CC	063800013FF1	BTST	#1,00003FF1
0044D2	4E71	NOP	
0044D4	67F6	DEG.B	#00442E, #00003FF3
0044D6	11FC003AFF3	NOPE	
0044DC	4E71	CLR.L	D4
0044DE	4281	MOVE.B	#8,D4
0044E0	123C0008	CLR.L	D3
0044E4	4283	CLR.L	D4
0044E6	4284	MOVE.B	(A3),D3
0044E8	1613	MOVE.B	(A3),D4
0044EA	1813	LBR.B	#4,D3
0044EC	E809	CMP.B	#9,D3
0044EE	0C030009	BLE.S	#00430E, #00003FF3
0044F2	6F1A	CLR.L	D5
0044F4	4285	MOVE.B	#5,D5
0044F6	1A3C0037	ADD.B	D5,D5
0044FA	DA03	BTST	#1,00003FF1
0044FC	083800013FF1	NOP	
004502	4E71	DEG.S	#0044FC, #00003FF3
004504	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
004506	11C53FF3	NOP	
00450A	4E71	BRAS	#004526
00450C	6018	CLR.L	D5
00450E	42B5	MOVE.D	#4,D5
004510	1A3C0027	ADD.B	D5,D5
004514	DA03	BTST	#1,00003FF1
004516	083800013FF1	NOP	
00451C	4E71	DEG.S	#004516, #00003FF3
00451E	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
004520	11C53FF3	NOP	
004524	4E71	BCLR	#4,D4
004526	08840004	BCLR	#5,D4
004528	08840006	BCLR	#6,D4
00452E	08840007	BCLR	#7,D4
004532	08840009	CMP.B	#7,D4
004536	0C04000C	BLE.S	#004536
00453A	6F1A	CLR.L	D5
00453E	42B5	MOVE.B	#5,D5
004542	1A3C0037	ADD.B	D4,D5
004544	DA04	BTST	#1,00003FF1
004546	083800013FF1	NOP	
00454A	4E71	DEG.S	#00454A, #00003FF3
00454C	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
00454E	11C53FF3	NOP	
004550	4E71	BTST	#1,00003FF1
004552	083800013FF1	NOP	
004554	4E71	DEG.S	#004554, #00003FF3
004556	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
004558	11C53FF3	NOP	
00455A	4E71	BTST	#1,00003FF1
00455C	083800013FF1	NOP	
00455E	4E71	DEG.S	#00455E, #00003FF3
004560	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
004562	11C53FF3	NOP	
004564	4E71	BTST	#1,00003FF1
004566	083800013FF1	NOP	
004568	4E71	DEG.S	#004568, #00003FF3
00456A	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
00456C	11C53FF3	NOP	
00456E	4E71	BTST	#1,00003FF1
004570	083800013FF1	NOP	
004572	4E71	DEG.S	#004570, #00003FF3
004574	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
004576	11C53FF3	NOP	
004578	4E71	BTST	#1,00003FF1
00457A	083800013FF1	NOP	
00457C	4E71	DEG.S	#00457C, #00003FF3
00457E	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
004580	11C53FF3	NOP	
004582	4E71	BTST	#1,00003FF1
004584	083800013FF1	NOP	
004586	4E71	DEG.S	#004586, #00003FF3
004588	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
00458A	11C53FF3	NOP	
00458C	4E71	BTST	#1,00003FF1
00458E	083800013FF1	NOP	
004590	4E71	DEG.S	#004590, #00003FF3
004592	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
004594	11C53FF3	NOP	
004596	4E71	BTST	#1,00003FF1
004598	083800013FF1	NOP	
00459A	4E71	DEG.S	#00459A, #00003FF3
00459C	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
00459E	11C53FF3	NOP	
0045A0	4E71	BTST	#1,00003FF1
0045A2	083800013FF1	NOP	
0045A4	4E71	DEG.S	#0045A4, #00003FF3
0045A6	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
0045A8	11C53FF3	NOP	
0045AA	4E71	BTST	#1,00003FF1
0045AC	083800013FF1	NOP	
0045AE	4E71	DEG.S	#0045AE, #00003FF3
0045B0	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
0045B2	11C53FF3	NOP	
0045B4	4E71	BTST	#1,00003FF1
0045B6	083800013FF1	NOP	
0045B8	4E71	DEG.S	#0045B8, #00003FF3
0045BA	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
0045BC	11C53FF3	NOP	
0045BE	4E71	BTST	#1,00003FF1
0045C0	083800013FF1	NOP	
0045C2	4E71	DEG.S	#0045C2, #00003FF3
0045C4	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
0045C6	11C53FF3	NOP	
0045C8	4E71	BTST	#1,00003FF1
0045CA	083800013FF1	NOP	
0045CC	4E71	DEG.S	#0045CC, #00003FF3
0045CE	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
0045D0	11C53FF3	NOP	
0045D2	4E71	BTST	#1,00003FF1
0045D4	083800013FF1	NOP	
0045D6	4E71	DEG.S	#0045D6, #00003FF3
0045D8	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
0045DA	11C53FF3	NOP	
0045DC	4E71	BTST	#1,00003FF1
0045DE	083800013FF1	NOP	
0045E0	4E71	DEG.S	#0045E0, #00003FF3
0045E2	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
0045E4	11C53FF3	NOP	
0045E6	4E71	BTST	#1,00003FF1
0045E8	083800013FF1	NOP	
0045EA	4E71	DEG.S	#0045EA, #00003FF3
0045EC	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
0045EE	11C53FF3	NOP	
0045F0	4E71	BTST	#1,00003FF1
0045F2	083800013FF1	NOP	
0045F4	4E71	DEG.S	#0045F4, #00003FF3
0045F6	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
0045F8	11C53FF3	NOP	
0045FA	4E71	BTST	#1,00003FF1
0045FC	083800013FF1	NOP	
0045FE	4E71	DEG.S	#0045FE, #00003FF3
004600	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
004602	11C53FF3	NOP	
004604	4E71	BTST	#1,00003FF1
004606	083800013FF1	NOP	
004608	4E71	DEG.S	#004608, #00003FF3
00460A	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
00460C	11C53FF3	NOP	
00460E	4E71	BTST	#1,00003FF1
004610	083800013FF1	NOP	
004612	4E71	DEG.S	#004612, #00003FF3
004614	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
004616	11C53FF3	NOP	
004618	4E71	BTST	#1,00003FF1
00461A	083800013FF1	NOP	
00461C	4E71	DEG.S	#00461C, #00003FF3
00461E	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
004620	11C53FF3	NOP	
004622	4E71	BTST	#1,00003FF1
004624	083800013FF1	NOP	
004626	4E71	DEG.S	#004626, #00003FF3
004628	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
00462A	11C53FF3	NOP	
00462C	4E71	BTST	#1,00003FF1
00462E	083800013FF1	NOP	
004630	4E71	DEG.S	#004630, #00003FF3
004632	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
004634	11C53FF3	NOP	
004636	4E71	BTST	#1,00003FF1
004638	083800013FF1	NOP	
00463A	4E71	DEG.S	#00463A, #00003FF3
00463C	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
00463E	11C53FF3	NOP	
004640	4E71	BTST	#1,00003FF1
004642	083800013FF1	NOP	
004644	4E71	DEG.S	#004644, #00003FF3
004646	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
004648	11C53FF3	NOP	
00464A	4E71	BTST	#1,00003FF1
00464C	083800013FF1	NOP	
00464E	4E71	DEG.S	#00464E, #00003FF3
004650	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
004652	11C53FF3	NOP	
004654	4E71	BTST	#1,00003FF1
004656	083800013FF1	NOP	
004658	4E71	DEG.S	#004658, #00003FF3
00465A	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
00465C	11C53FF3	NOP	
00465E	4E71	BTST	#1,00003FF1
004660	083800013FF1	NOP	
004662	4E71	DEG.S	#004662, #00003FF3
004664	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
004666	11C53FF3	NOP	
004668	4E71	BTST	#1,00003FF1
00466A	083800013FF1	NOP	
00466C	4E71	DEG.S	#00466C, #00003FF3
00466E	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
004670	11C53FF3	NOP	
004672	4E71	BTST	#1,00003FF1
004674	083800013FF1	NOP	
004676	4E71	DEG.S	#004676, #00003FF3
004678	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
00467A	11C53FF3	NOP	
00467C	4E71	BTST	#1,00003FF1
00467E	083800013FF1	NOP	
004680	4E71	DEG.S	#004680, #00003FF3
004682	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
004684	11C53FF3	NOP	
004686	4E71	BTST	#1,00003FF1
004688	083800013FF1	NOP	
00468A	4E71	DEG.S	#00468A, #00003FF3
00468C	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
00468E	11C53FF3	NOP	
004690	4E71	BTST	#1,00003FF1
004692	083800013FF1	NOP	
004694	4E71	DEG.S	#004694, #00003FF3
004696	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
004698	11C53FF3	NOP	
00469A	4E71	BTST	#1,00003FF1
00469C	083800013FF1	NOP	
00469E	4E71	DEG.S	#00469E, #00003FF3
0046A0	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
0046A2	11C53FF3	NOP	
0046A4	4E71	BTST	#1,00003FF1
0046A6	083800013FF1	NOP	
0046A8	4E71	DEG.S	#0046A8, #00003FF3
0046AA	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
0046AC	11C53FF3	NOP	
0046AE	4E71	BTST	#1,00003FF1
0046B0	083800013FF1	NOP	
0046B2	4E71	DEG.S	#0046B2, #00003FF3
0046B4	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
0046B6	11C53FF3	NOP	
0046B8	4E71	BTST	#1,00003FF1
0046BA	083800013FF1	NOP	
0046BC	4E71	DEG.S	#0046BC, #00003FF3
0046BE	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
0046C0	11C53FF3	NOP	
0046C2	4E71	BTST	#1,00003FF1
0046C4	083800013FF1	NOP	
0046C6	4E71	DEG.S	#0046C6, #00003FF3
0046C8	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
0046CA	11C53FF3	NOP	
0046CC	4E71	BTST	#1,00003FF1
0046CE	083800013FF1	NOP	
0046D0	4E71	DEG.S	#0046D0, #00003FF3
0046D2	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
0046D4	11C53FF3	NOP	
0046D6	4E71	BTST	#1,00003FF1
0046D8	083800013FF1	NOP	
0046DA	4E71	DEG.S	#0046DA, #00003FF3
0046DC	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
0046DE	11C53FF3	NOP	
0046E0	4E71	BTST	#1,00003FF1
0046E2	083800013FF1	NOP	
0046E4	4E71	DEG.S	#0046E4, #00003FF3
0046E6	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
0046E8	11C53FF3	NOP	
0046EA	4E71	BTST	#1,00003FF1
0046EC	083800013FF1	NOP	
0046EE	4E71	DEG.S	#0046EE, #00003FF3
0046F0	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
0046F2	11C53FF3	NOP	
0046F4	4E71	BTST	#1,00003FF1
0046F6	083800013FF1	NOP	
0046F8	4E71	DEG.S	#0046F8, #00003FF3
0046FA	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
0046FC	11C53FF3	NOP	
0046FE	4E71	BTST	#1,00003FF1
004700	083800013FF1	NOP	
004702	4E71	DEG.S	#004702, #00003FF3
004704	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
004706	11C53FF3	NOP	
004708	4E71	BTST	#1,00003FF1
00470A	083800013FF1	NOP	
00470C	4E71	DEG.S	#00470C, #00003FF3
00470E	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
004710	11C53FF3	NOP	
004712	4E71	BTST	#1,00003FF1
004714	083800013FF1	NOP	
004716	4E71	DEG.S	#004716, #00003FF3
004718	67F6	MOVE.B	D5, #00003FF3
00471A			

