

12  
29.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA INTERFASE DE  
PUERTOS ANALOGICO-DIGITALES DE ENTRADA-SALIDA  
PARA EL MICROKIT Z-80.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
P R E S E N T A N

ALFONSO CONTRERAS MARQUEZ  
FRANCISCO JAVIER GONZALEZ JIMENEZ  
RODRIGO SANCHEZ RAMOS

Director de Tesis: IME Jorge Buendía Gómez

CUAUTITLAN IZCALLI, MEX. JUNIO DE 1988



V N A M

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## INDICE

I. Introducción.....	1
II. Fenómenos Analógicos y Digitales.....	8
2.1 Información Analógica y Digital.....	12
III. Multiplexores y Demultiplexores Analógicos.....	18
3.1 Multiplexores.....	18
3.2 Demultiplexores.....	20
3.3 Multiplexor Demultiplexor Analógico CD 4051.....	20
IV. Convertidores.....	24
4.1 Generalidades.....	24
4.2 Convertidores D/A.....	30
Errores característicos.....	31
4.2.1 Técnica de resistencia ponderada.....	36
4.2.2 Técnica de resistencia en escalera.....	37
4.2.3 Convertidor D/A MC1408.....	41
4.3 Convertidores A/D.....	43
Errores característicos.....	45
4.3.1 Técnica de rampa analógica.....	46

4.3.2	Técnica de contador de rampa.....	48
4.3.3	Técnica de aproximaciones sucesivas.....	49
4.3.4	Técnica de doble rampa.....	51
4.3.5	Convertidor A/D ADC 0809.....	54
V.	Microkit Z80.....	61
1.	Configuración externa.....	65
2.	Configuración interna.....	71
VI.	Diseño del Hardware.....	76
6.1	Etapas de entrada.....	77
a.	Lógica de control de entrada.....	77
b.	Selector de canales de entrada.....	81
c.	Convertidor de escala.....	81
d.	Convertidor Analógico-Digital.....	93
6.2	Etapas de salida.....	98
a.	Lógica de control.....	98
b.	Convertidor Digital-Analógico.....	101
c.	Convertidor de escala.....	106
d.	Selector de canal de salida.....	113

6.3 Fuente de alimentación para la interfaz.....	116
VII. Manual del usuario .....	117
7.1 Descripción física .....	117
7.2 Instalación de la interfaz .....	119
7.3 Operación de la interfaz .....	120
a). Relación entre el número de canal de E/S, y la dirección a la cual responde.....	121
b). Resolución de la conversión analógica a digital...122	
c). Interpretación de lecturas en el Microkit Z80.....122	
7.4 Aplicaciones prácticas de la interfaz .....	125
a). Determinación del voltaje de una señal analógica, en un instante de tiempo.....	125
b). Obtención de una determinada señal analógica, a partir de un dato digital introducido en el Microkit Z80.....	126
c). Ingresar una señal analógica por un canal de entrada y mandarla a un canal de salida.....	129

d). Generación de diferentes tipos de señales analógicas mediante software.....	132
VIII. Conclusiones .....	141
Bibliografía .....	144
Apéndice A .....	147
Apéndice B .....	151

## I. INTRODUCCION

El diseño y construcción de ésta interfaz tiene como finalidad el poder procesar hasta ocho señales de tipo analógico en el Microkit- Z80.

Este proyecto esta constituido por los siguientes elementos:

- i). Un Microkit-Z80.
- ii). Una interfaz de puertos-analógico digitales de E/S.

El Microkit-Z80 es una Nanocomputadora utilizada con fines didácticos en el laboratorio de Microprocesadores de esta facultad. (Fig. 1)

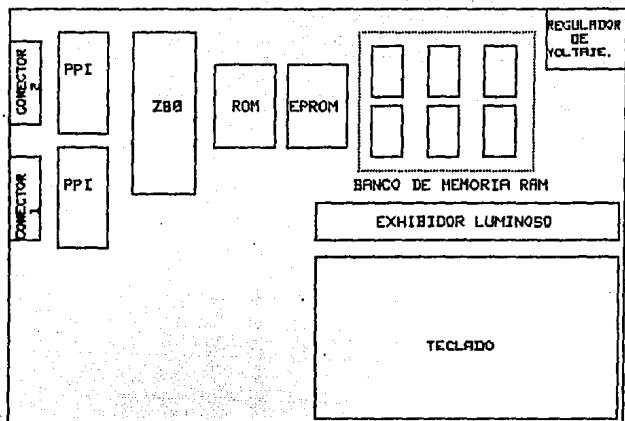


Fig. 1 Organización física del Microkit Z80.



El Microkit-Z80 esta constituido por los siguientes elementos:

1. Bus de datos
2. Bus de direcciones
3. Bus de control
4. Banco de memoria RAM
5. Memoria ROM
6. Memoria EPROM
7. Microprocesador Z-80
8. Perifericos programables 8255 (PPI)
9. Display de 7 segmentos
10. Teclado
11. Regulador de voltaje
12. Conectores

El principio de funcionamiento del Microkit-Z80 consiste en procesar información únicamente de tipo digital, sin embar

go en la naturaleza la mayoría de los fenómenos son de tipo analógico, por lo cual surge la necesidad de crear una interfaz de puertos analógico digitales de E/S, que permita procesar este tipo de señales en el Microkit-Z80.

La interfaz de puertos analógico digitales de E/S, esta constituida por los siguientes elementos:

a). Etapa de entrada

i). Lógica de control de entrada

Esta lógica se encarga de sincronizar el funcionamiento de los circuitos que componen la etapa de entrada.

ii). Selector de canal de entrada

Esta sección determina de uno a ocho canales de entrada por donde ingresa la señal de tipo analógico.

iii). Convertidor de escala

Se utiliza para adaptar el rango de voltaje de la señal analógica de entrada a un rango común, requerido por los circuitos de la interfaz, en especial el convertidor analógico digital.

iv). Convertidor analógico digital

Este circuito se encarga de convertir la señal analógica de entrada en señal digital, para que así pueda ser procesada por el Microkit-Z80.

Se utiliza el CI ADC0809 como convertidor analógico digital, el cual utiliza la técnica de conversión de aproximaciones sucesivas.

b). Etapa de salida

i). Lógica de control de salida

Esta lógica se encarga de sincronizar el funcionamiento de los circuitos que componen la etapa de salida.

## ii). Convertidor digital analógico

Este circuito se encarga de convertir la señal digital que ha sido procesada por el Microprocesador Z-80, en señal analógica.

Se utiliza el CI MC1408-8 como convertidor digital analógico, el cual realiza la conversión mediante la técnica de conversión R-2R.

## iii). Convertidor de escala

Se utiliza para adaptar el rango de voltaje de la señal analógica que ha sido convertida por el convertidor digital analógico, en los dos rangos de voltaje requeridos (-5 a +5 volts y 0 a 10 volts)

## iv). Selector de canal de salida

Esta sección determina de uno a ocho canales de salida para la señal analógica.

El diagrama de bloques de la interfaz es el siguiente:

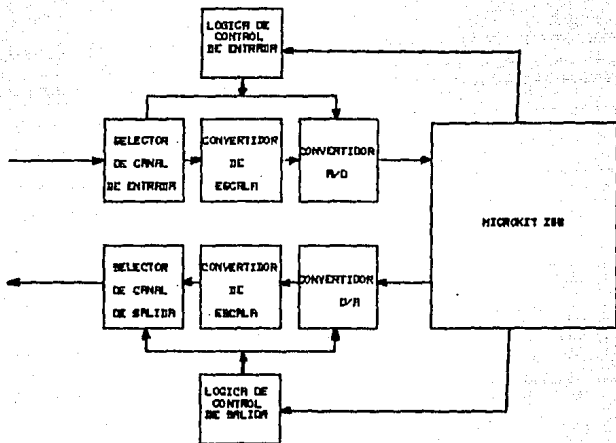


Fig. 2 Diagrama de bloques de la interfaz.

## II. FENOMENOS ANALOGICOS Y DIGITALES

Los fenómenos naturales comparten la característica de ser de tipo continuo. Es decir, la escala de manifestaciones de un fenómeno cualquiera no tienen singularidades ni "puntos muertos", sino que se extiende de manera continua desde la parte inferior a la superior. La temperatura del agua, por ejemplo puede variar entre cero y cien grados antes de que ésta cambie de estado. Lo importante es que en cualquier momento el agua puede estar en algún punto intermedio de la escala, sin más limitación que la cantidad de calor que reciba.

Esto es : en la naturaleza los fenómenos no se limitan a unas cuantas posiciones fijas de sus respectivas escalas de manifestación, sino más bien a una variación continua entre dos límites, el superior y el inferior.

Los fenómenos que se comportan así, reciben el nombre de fenómenos analógicos.

No ocurre lo mismo, sin embargo, con algunos fenómenos creados por el hombre. Pensemos en un automóvil: si suponemos de transmisión estandar entonces se dará el caso en que en algún momento determinado, la caja de velocidades ocupe alguna posición predeterminada ( 1a, 2a, 3a, ect. ) no pudiendo marchar en "primera tres cuartos", o lo hace en la primera velocidad o lo hace en la segunda.

Estos fenómenos reciben el nombre de digitales. Podemos así hablar de computadoras analógicas y digitales: son computadoras analógicas las que trabajan por medio de funciones continuas (generalmente señales continuas) y son computadoras digitales aquellas que manejan la información de manera discreta en unidades llamadas bits.

Las primeras computadoras fueron usadas principalmente para realizar cálculos numéricos, en este caso los elementos discretos usados son los dígitos. De esta aplicación ha surgido el término computadora digital podría ser " sistema de procesamiento de información discreta ".

Los elementos discretos de información se representan en un sistema digital por cantidades físicas llamadas señales. Las señales eléctricas tales como voltajes y corrientes son las más comunes.

Las señales en los sistemas digitales electrónicos de la actualidad tienen solamente dos valores discretos directos y se les llama binarios.

Muchos sistemas físicos pueden ser descritos matemáticamente por medio de ecuaciones diferenciales cuyas soluciones, como funciones de tiempo, darán un comportamiento matemático del proceso.

Una computadora analógica realiza una simulación directa de un sistema físico. Cada sección de la computadora es el a



nalogo de alguna parte específica del proceso sometido a estudio. Las variables en la computadora analógica están representadas por señales continuas que varían con el tiempo y que por lo general son voltajes eléctricos. Las señales variables son consideradas análogas con aquellas del proceso y se comportan de igual manera. De esta forma, las mediciones de voltajes analógicos pueden ser sustituidos por variables del proceso. El término señal analógica se sustituye por señal continua debido a que una computadora analógica se ha convertido significativamente en una computadora que maneja variables continuas.

Podemos decir que aproximadamente más del 95% de las computadoras actualmente en uso son digitales, ya que el empleo de las analógicas se ve restringido a aplicaciones muy particulares como lo es en la ingeniería o en la biología.

## 2.1 Información analógica y digital

Dos métodos para representar información se encuentran en general en los sistemas electrónicos. El método analógico y el método digital.

En el método analógico la magnitud de la información está representada por la amplitud de una señal electrónica, referida a un nivel de referencia preestablecido. La resolución que puede lograrse con este método es teóricamente infinita. Las ventajas de este método son las siguientes:

1. Código de representación compacto y simple.
2. Representación continua.
3. Simplicidad de procesamiento de información.
4. Costo de los circuitos relativamente bajo.

La mayoría de las cantidades físicas de nuestro universo son fundamentalmente analógicas y por consiguiente los transductores de cantidades físicas: presión, temperatura, etc. a magnitudes eléctricas son en general analógicos.

Las desventajas que este método representa son:

1. La exactitud obtenida depende de la medición misma.
2. La señal es influida por factores físicos.
3. El procesamiento de la información reduce su exactitud.

Al procesar una señal analógica (amplificación, modulación, integración) la señal resultante no es idéntica a la señal ideal que se debería haber obtenido. Los cambios en la señal durante el proceso causados por la naturaleza no ideal de los circuitos procesadores.

El método digital supera algunas de las desventajas de la representación analógica. En la representación digital cada magnitud es representada por un número binario. El sistema binario consiste solamente en dos dígitos 0 y 1, llamados dígitos binarios (o en forma reducida BIT). Cada número binario está compuesto de bits. Los  $n$  bits de un número binario pueden aparecer uno después de otro en la salida (método serie) o simultáneamente en  $n$  salidas (método paralelo).

Hay muchas maneras para representar números por medio de bits. En el método binario directo cada bit tiene asignado

su propio peso de acuerdo a su posición en el número, tal como en el sistema decimal. Otro ejemplo es un código en el cual cada grupo de bits representa un valor arbitrario (el número binario está dividido en grupos de bits). En cualquier método una cantidad finita de bits puede representar solo una cantidad finita de valores. Resulta claro que una variable continua no puede ser representada utilizando solamente números binarios. Hay además limitantes tecnológicas y económicas al aumentar el número de bits.

En el método binario directo, el peso asignado en cada posición en el número es una potencia de 2. El bit en la posición de mayor peso ( $2^{n-1}$ ) se llama bit más significativo (MSB) y el bit en la posición de menor peso ( $2^0$ ) se llama bit menos significativo (LSB). El valor de un número A en el método binario directo es la suma de números pesados ( $X_i$ ).

$$A = X_0 + X_1(2^1) + X_2(2^2) + \dots + X_{n-1}(2^{n-1}) = \sum_{i=0}^{n-1} X_i(2^i)$$

Un dígito binario se representa en electrónica digital por dos niveles de tensión (o de corriente) distintos. Uno de estos niveles representa el valor 1 y el otro 0. Las ventajas de la representación digital son:

1. Inmunidad al ruido.
2. Control del nivel de exactitud.
3. Conveniencia en el almacenamiento de información.
4. Facilidad para realizar operaciones aritméticas y lógicas.
5. Capacidad de corrección de errores.

Algunas de las desventajas de la representación digital son:

1. El diseño es generalmente implementado por medio de un gran número de componentes complicados.
2. Las diferencias de cuantificación aparecen como ruido.
3. La señal es muestreada.
4. Se requiere un ancho de banda mayor.

5. Existe un gran número de códigos digitales distintos.
6. Existe un gran número de señales digitales normalizadas.
7. Un sistema mixto digital-analógico no es lineal.
8. La conversión de representación analógica a digital produce errores.
9. La incertidumbre con respecto al valor representado es igual a  $\pm 1/2$  LSB.

Aún con la última tecnología de circuitos integrados un sistema digital puede ser complejo y constar de muchos componentes. Esto tiene consecuencias en la confiabilidad del circuito, su costo y facilidad de producción.

La fig. 2.1 muestra un ejemplo de señal digital, y en la fig. 2.2 se observan algunos ejemplos de señales analógicas.

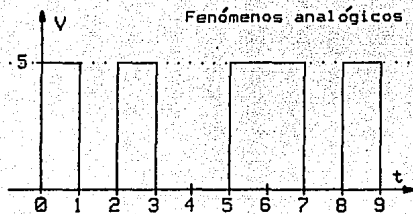


Fig. 2.1 Ejemplo de señal digital.

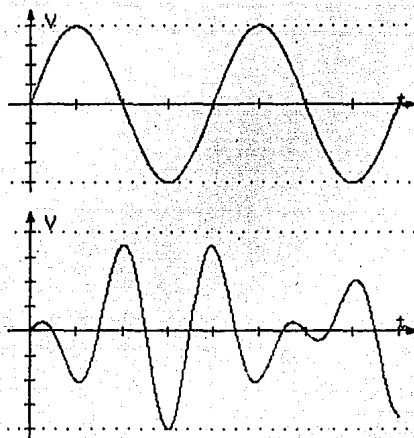


Fig. 2.2 Ejemplos de señales analógicas.

### III. MULTIPLEXORES Y DEMULTIPLEXORES ANALOGICOS

#### 3.1 Multiplexores

Multiplexar significa transmitir una gran cantidad de unidades de información por un número pequeño de canales o líneas.

Un multiplexor analógico es un circuito combinacional que selecciona información analógica de una de muchas líneas de entrada, para dirigirla a una sola línea de salida. La selección de una línea de entrada en particular es controlada por un conjunto de líneas de selección. Normalmente hay  $2^n$  líneas



de entrada y  $n$  líneas de selección cuyas combinaciones de bits determinan cual entrada se selecciona.

Un multiplexor se llama también un selector de datos ya que selecciona una de muchas entradas y guía la información analógica a la línea de salida.

El tamaño del multiplexor se especifica por el número  $2^n$  de sus líneas de entrada y de la sola línea de salida, implicando así que contiene  $n$  líneas de selección.

Los multiplexores pueden tener una entrada de activación para controlar la operación de la unidad. Cuando la entrada de activación esté en un estado binario dado, las salidas se inhabilitan o cuando esta en el otro estado ( el estado de habilitación ) el circuito funciona como un multiplexor normal.

Los multiplexores tienen una multitud de aplicaciones como puede ser conectar dos o más fuentes a un solo destino entre las unidades de una computadora, construir un sistema de bus común, etc.

### 3.2 Demultiplexores

Un demultiplexor es un circuito que recibe información por una sola línea de entrada y transmite esta información en una de las  $2^n$  líneas posibles de su salida. La selección de una línea de salida específica, se controla por los valores de los bits de  $n$  líneas de selección.

### 3.3 Multiplexor/demultiplexor analógico CD4051

#### i). Descripción General

El circuito CD4051 es un multiplexor/demultiplexor de 8 canales el cual tiene tres entradas digitales de control: A B y C, una entrada inhibidora, ocho canales de E/S y un canal común de E/S. Si el circuito funciona como multiplexor los ocho canales se activan como entradas y el canal común de salida y si funciona como demultiplexor; los ocho canales se activan de salida y el común de entrada (fig. 3.1)

Las entradas de control digitales A, B, C y la señal inhibidora son determinadas por una lógica de control.

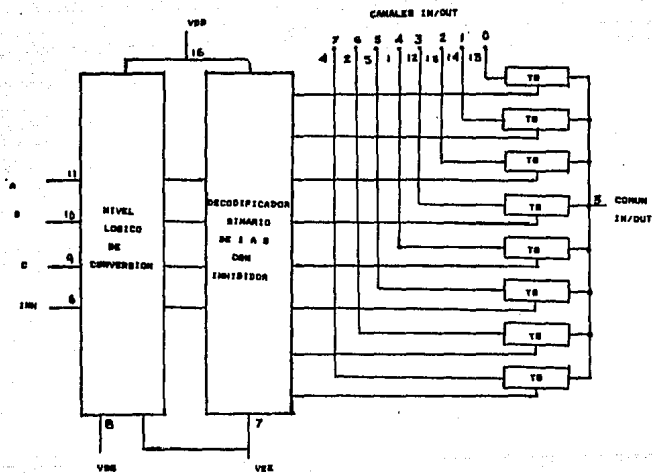


Fig. 3.1 Configuración interna del CI CD4051.

## ii). Tabla de Verdad del circuito CD4051

ENTRADAS				CANALES
INHIBIT	C	B	A	
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2
0	0	1	1	3
0	1	0	0	4
0	1	0	1	5
0	1	1	0	6
0	1	1	1	7
1	*	*	*	-

## iii). Especificaciones del CD4051

- Nivel de voltaje 3 - 15 VCD.
- Nivel de voltaje de entrada analógico hasta 15 Vpp
- Voltaje de alimentación positivo (VDD) \*

- d). Voltaje de alimentación negativo (VEE) \*
- e). Voltaje (VSS) dependiente de VDD y VEE \*
- f). Ocho canales de E/S (I/O1, I/O2, ... I/O8)
- g). Un canal común de E/S (COM I/O)
- h). Tres líneas digitales de dirección (A, B, C)
- i). Una entrada inhibidora (INH)

\* Ejemplo:

Si VDD= 5 VCD, VEE= -5 VCD y VSS= 0 VCD

La amplitud de la señal de entrada sera de -5VCD a +5 VCD  
pudiendo ser controlada por niveles de voltaje TTL.

## IV. CONVERTIDORES

### 4.1 Generalidades.

El comportamiento de los sistemas eléctricos, mecánicos, hidráulicos, térmicos, etc, generalmente se representa por medio de señales eléctricas, debido a que las variables físicas que se manejan en cada sistema, pueden ser convertidas a voltaje por medio de transductores.

Estas señales eléctricas se representan principalmente de dos maneras: analógica y digital.

Con el avance tecnológico de las computadoras, hoy en día es posible procesar en un tiempo reducido, una gran cantidad de información en forma digital. Esta característica las ha llevado a formar parte de los sistemas de control, que por lo general manejan señales de tipo analógico. Por lo anterior, surge la necesidad de emplear dispositivos que permitan la comunicación entre la computadora y el sistema.

Estos dispositivos son llamados convertidores digital analógico (D/A) y convertidores analógico digital (A/D).

Algunas de las aplicaciones más comunes de los convertidores D/A y A/D son las siguientes:

- i). En comunicaciones digitales
- ii). En instrumentos de medición
- iii). En general para comunicar sistemas analógicos con computadoras digitales.

En el pasado, consideraciones económicas impedían el uso de convertidores D/A y A/D en instrumentos sencillos.

Al disminuir el costo de los convertidores, se van usando cada vez en mayor escala. Además los convertidores encontrados hoy en día en instrumentos tienen mejores características eléctricas comparadas con los fabricados en el pasado.

Las características que deben ser consideradas al elegir un convertidor son:

- a). Resolución
- b). Rapidez de conversión
- c). Errores
- d). Compatibilidad con otros circuitos
- e). Exactitud

a). Resolución

i). En convertidores D/A

El número de bits utilizados en la conversión determinan la resolución y así mismo la exactitud básica del convertidor



Esta característica queda determinada por la siguiente relación:

$$\text{Resolución} = \frac{\text{Voltaje a escala total}}{2^n}$$

En donde n es el número de bits.

Esto es, si tenemos un voltaje de 5 V y nuestro convertidor es de 8 bits, la resolución será:

$$\text{Resolución} = \frac{5 \text{ V}}{2^8} = .01953125 \text{ V.}$$

ii). En convertidores A/D

Esta determinada por el valor más pequeño de una señal de entrada analógica, la cual produce una señal de salida digital proporcional al LSB. Se determina de la misma forma que en un convertidor D/A.

b). Rapidez de conversión

i). En un convertidor D/A

Es el tiempo requerido por el convertidor para estabilizar sus circuitos electrónicos y producir una salida con exactitud de  $\pm 1/2$  LSB. Existe otro parámetro llamado velocidad de conversión el cual es igual al recíproco de la rapidez de conversión.

ii). En convertidores A/D.

Es el tiempo requerido por el circuito para obtener una señal digital correspondiente al voltaje de entrada analógico.

c). Errores

A medida que el número de bits crece, sucede lo mismo con los errores, los cuales pueden ser causados por parámetros de los circuitos electrónicos.

d). Compatibilidad con otros circuitos

Esta característica es propia para cada A/D Y D/A.

Debido a que el convertidor es alimentado por circuitos electrónicos y éste a su vez alimenta a otros circuitos electrónicos, debe por lo tanto ser compatible con el resto del equipo que lo rodea.

e). Exactitud

i). En convertidores D/A

Es la desviación que sufre el voltaje de salida analógico respecto al valor esperado para una determinada entrada digital. Una exactitud de  $\pm 1/2$  LSB es considerada aceptable.

ii). En convertidores A/D

Es la desviación que sufre el voltaje de salida digital respecto al valor esperado para una determinada entrada analógica. Puede ser representada por un porcentaje de la escala total.

## 4.2 Convertidores D/A

La comunicación entre los universos analógico y digital requiere aparatos que puedan traducir el lenguaje de los universos. Un convertidor de señales digitales a analógicas, (D/A) acepta una palabra digital como entrada y la traduce o convierte, en un voltaje analógico.

Pueden construirse convertidores que acepten la palabra digital en una variedad de cifrados, tales como el decimal binario. La salida analógica de un convertidor D/A n-dígito binario se obtiene con la expresión:

$$E_o = VR \left( \frac{a_1}{2} + \frac{a_2}{4} + \frac{a_3}{8} + \dots + \frac{a_n}{2^n} \right) \dots (4.2a)$$

en la que VR es un voltaje de referencia analógico y los coeficientes de  $a_1 \dots a_n$  son iguales a cero si un dígito binario está en desconexión y es igual a 1 si un dígito binario está en conexión.

El peso del dígito binario más significativo (MSB) es  $VR/2$  y el peso del dígito binario menos significativo (LSB) es  $VR/2^n$ .

Cuando todos los dígitos binarios cambian a conectados (todas las entradas binarias a un 1 lógico), la salida analógica será  $VR(1-2^{-n})$ .

Cuando se usa un amplificador operacional como amplificador de salida de un convertidor D/A, la ganancia del amplificador puede ajustarse de manera que el término VR en la ecuación 4.2a sea igual a 10.24 V. Para un convertidor de diez dígitos binarios ( $2^{10}=1024$ ) el LBS manifiesta un par (10.24 V / 1024) o 10 mV. Cuando todos los dígitos binarios están en conexión, la salida analógica será 10.23 V, es decir, VR menos el peso del LBS. De la misma manera, para un convertidor de doce dígitos binarios, el LBS sería 2.5 mV, cuando  $VR=10.24$  V. Aunque hacer que  $VR=10.24$  V provoca que los niveles puedan recordarse con facilidad por ser combinaciones de las potencias de 2, la salida analógica, con frecuencia se desmultiplica para que sea 10 V cuando todos los dígitos binarios están en conexión.

#### Errores característicos de los convertidores D/A

- a). Error de desbalance
- b). Error de alinealidad

- c). Error de ruido térmico
- d). Error de factor de escala
- e). Error de monotonía
- f). Error dinámico

**Error de desbalance:** Es el voltaje producido a la salida del circuito cuando se tiene a la entrada un código igual a cero. Este error es producido por un offset en la fuente de alimentación. Fig. 4.1

**Error de alinealidad:** Es la diferencia que existe entre la señal obtenida y la señal esperada tomando como referencia una línea recta imaginaria, trazada desde el cero hasta el valor mayor de la escala total. Fig. 4.2

**Error de ruido térmico:** Es el producido por los propios circuitos al operar fuera de sus rangos establecidos de trabajo. ( Estos rangos son definidos en las especificaciones que da el fabricante de todo circuito ).

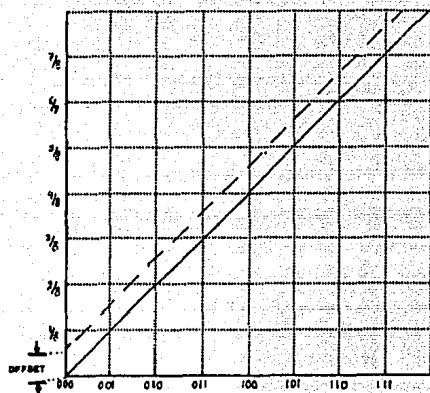


Fig. 4.1 Error de desbalance.

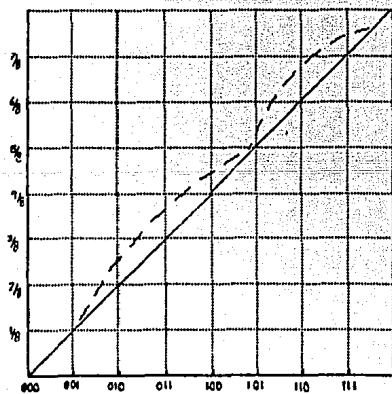


Fig. 4.2 Error de alinealidad.

**Error de factor de escala:** Es la diferencia de voltaje que se obtiene con respecto a el voltaje esperado para un código de entrada determinado. Fig. 4.3

**Error de monotonía:** Es un error producido por una alinealidad excesiva, en el cual se da el caso de que teniendo señales con incrementos a la entrada se tienen señales con decrementos a la salida. Fig. 4.4

**Error dinámico:** Este error es producido por los cambios que se presentan entre códigos adyacentes, durante el período de conversión. Siendo más acentuado en las transiciones de cambios de estado de los bits de un determinado código.

#### Técnicas de conversión para convertidores D/A

- a. De Resistencia Ponderada
- b. De Resistencia en Escalera (R-2R)



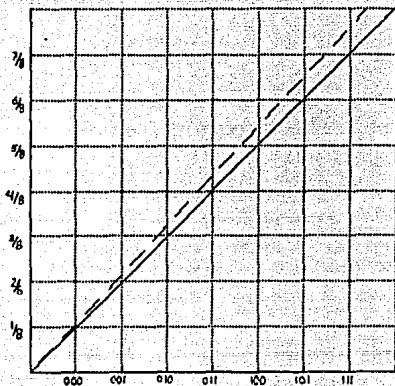


Fig. 4.3 Error de factor de escala.

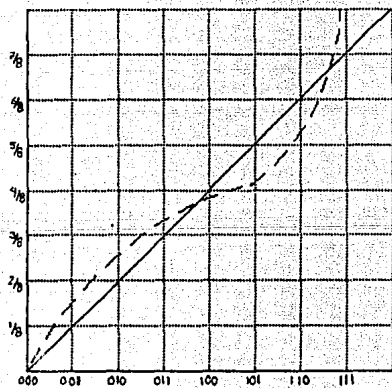


Fig. 4.4 Error de monotonía.

#### 4.2.1 Técnica de resistencia ponderada

Los elementos básicos de un convertidor D/A son:

- a. Red de resistores
- b. Conmutadores de voltaje o de corriente
- c. Fuente de alimentación de referencia
- d. Amplificador operacional de salida

La figura 4.5 muestra el diagrama de un convertidor D/A de entrada en paralelo cifrado en binario con red de resistores pesada en binario. Las corrientes pesadas en binario fijadas por la red de resistores y el voltaje de referencia (VR) son sumados por el amplificador operacional que esta funcionando como convertidor de voltaje a corriente de baja impedancia de salida. Eligiendo la resistencia de retroalimentación (RF) igual a 5 Kohms hace el peso del MBS igual a 5V, el siguiente dígito binario igual a 2.5 V, y el siguiente a 1.25 V y así sucesivamente hasta el LBS. Si RF fuera 5.12 Kohms, el peso de los dígitos binarios empezando en el MBS sería 5.12V, 2.56 V, 1.28 V, etc. Los conmutadores de voltaje pueden ser

transistores bipolares conectados para formar conmutadores de un solo polo de doble tiro. La red de resistencias requiere solamente de un dígito binario pero las resistencias tienen una gran variación de tamaño, lo que dificulta la igualdad de el coeficiente de temperatura.

#### 4.2.2 Técnica de resistencia en escalera

Una desventaja del circuito mostrado en la fig. 4.5 es la gran variación de los valores de las resistencias que se necesitan. La Red en Escalera comunmente usada de R-2R de la fig. 4.6 evita las desventajas de la gran variación en las resis

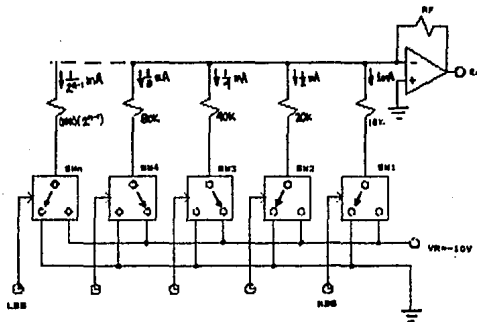


Fig. 4.5 Convertidor D/A utilizando la técnica de resistencia ponderada.

tencias a expensas de dos resistencias por dígito binario. Además, la precisión absoluta de las resistencias en la escalera  $R-2R$  no es crítica, pero su relación lo es, porque la escalera es un dispositivo de división de corriente de precisión. Para entender la operación de este circuito podemos considerar el peso de los diferentes dígitos binarios, uno a cada vez, y luego se superponen. Con  $MBS$  en conexión y todas las demás desconectadas, la corriente  $I_1$  sale del nodo 1. Debido a que las resistencias del nodo 1 a tierra es  $2R$  hacia

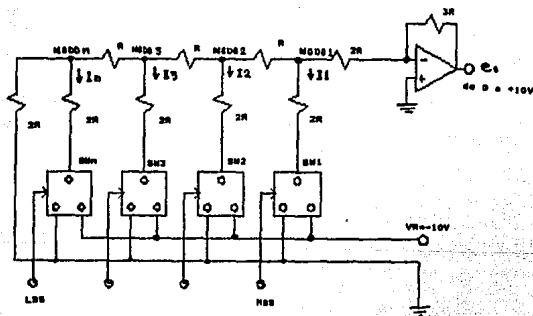


Fig. 4.6 Convertidor D/A utilizando la técnica de resistencia en escalera.

la izquierda y también  $2R$  hacia la derecha, la corriente  $I_1$  se dividirá igualmente a la izquierda y a la derecha. Esto es válido en cualquier nodo, ya que la resistencia hacia la izquierda, hacia la derecha o hacia el conmutador es siempre  $2R$ . Considerando el nodo 1 como parte de un divisor de voltaje, como aparece en la fig. 4.7, el voltaje en el nodo 1 será  $V_R/3$ . La ganancia del amplificador operacional del nodo 1 es  $-3R/2R$ ; por tanto, el peso del MBS es:

$$E_o = (V_R/3) (-3/2) = -V_R/2$$

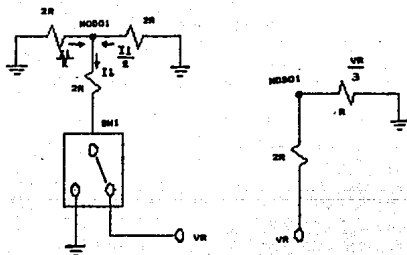


Fig. 4.7 Análisis del nodo 1 con el SW1 conectado.

Cuando el segundo dígito binario se conecta y todos los demás se desconectan, el voltaje en el nodo 2 será también  $VR/3$ . El circuito equivalente del nodo 2 hacia la derecha fig. 4.8 muestra que el voltaje en el nodo 1 será la mitad del voltaje en el nodo 2, o  $VR/6$ . Usando la ganancia del amplificador operacional, el segundo dígito binario da  $E_o = -VR/4$ . Usando este mismo procedimiento para el tercer dígito binario da  $E_o = -VR/8$  y así sucesivamente hasta el LBS, que da  $E_o = -VR/2^n$ . Existen muchos otros esquemas de redes de resistores, pero todos tienen el mismo objeto: producir corrientes con peso binario o

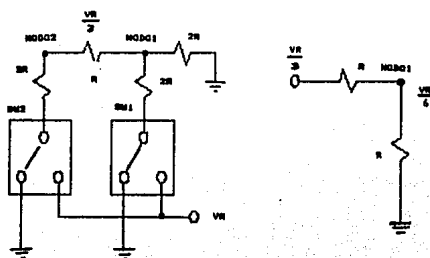


Fig. 4.8 Análisis del nodo 2 con el SW2 conectado.

voltajes que puedan conmutarse a conectados o desconectados de acuerdo con una palabra digital de entrada.

#### 4.2.3 Convertidor D/A MC1408

El convertidor D/A de 8 bits es de Motorola (MC1408-B). Este convertidor monolítico contiene una red en escalera R-2R y una lógica de conmutación de corriente. Cada bit binario controla un interruptor que regula la corriente que circula a través de la escalera. Si una entrada digital de 8 bits de 11000000 (192 en decimal) es aplicada a las líneas de control del convertidor ilustrado (Fig. 4.9), la corriente de salida

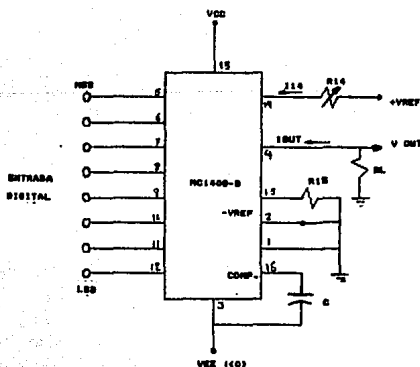


Fig. 4.9 Configuración externa del CI MC1408.

sería igual a  $(192/256)$  (2mA) o 1.5 mA. Obsérvese que cuando el valor binario 11111111 (255 en decimal) es aplicado, hay siempre una corriente remanente que es igual al LBS. Esta corriente es puesta a tierra, y la máxima corriente de salida es  $255/256$  de la corriente del amplificador de referencia o 1.992 mA para una corriente de referencia de 2 mA. La exactitud relativa para la versión MC1408-B es  $\pm 1/2$  el LSB o 0.19% de escala completa ver figura 4.10. Esto es más que adecuado para la mayoría de las aplicaciones de control analógico.

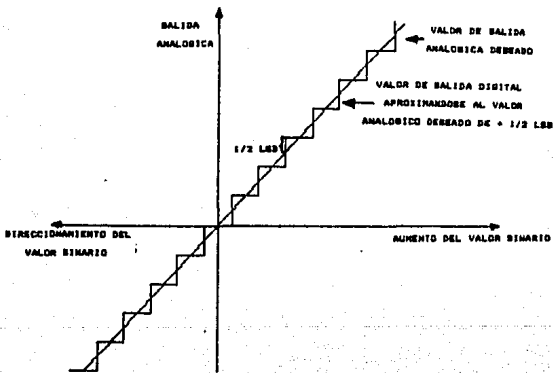


Fig. 4.10 Características de salida de un convertidor D/A.



### 4.3 Convertidores A/D

Un convertidor A/D convierte tensiones analógicas en una representación digital compatible con la entrada de la computadora. Como en el caso de un convertidor D/A de 8 bits, un convertidor A/D está sujeto a las mismas normas de conversión. Si se pretende leer una señal de 10V con un convertidor de 8 bits, la resolución será de  $1/256$  de 10 V. (o 40 mV) y la precisión será de  $\pm 1/2$  LSB.

Cuanto mayor es la resolución tantos más bits se necesitan. El número de bits no establece el rango de un convertidor; solo determina lo bien que se representa el valor. Un convertidor de 8 bits (A/D o D/A) puede prepararse con la misma facilidad para cubrir un rango de 0 a 1 V como para otro de 0 a 1000 V. Suele utilizarse la misma circuitería, pero se cambia una etapa de amplificación final o una red divisora de resistencias. Se entiende, que con un rango de 1000 V y un convertidor de 8 bits la resolución es de 4 V. Tal unidad sería inútil en señales de 0 a 10 V. El problema se puede resolver de

varias formas, pero la solución mas fácil es utilizar un convertidor con más bits. Un convertidor de 16 bits tiene  $65,536$  ( $2^{16}$ ) pasos, en vez de  $256$  ( $2^8$ ), cubriría el mismo rango de  $1000$  V en incrementos de  $15$  mV.

La conversión A/D es considerablemente más cara que la D/A pues el precio está directamente relacionado con la resolución y exactitud. Hay muchas formas de realización de la conversión A/D. El rango oscila desde técnicas baratas muy lentas a otras caras ultra rápidas.

#### Errores característicos de los convertidores A/D

- a). Error de desbalance
- b). Error de alinealidad
- c). Error de ruido térmico
- d). Error de factor de escala

Error de desbalance: Es cuando se tiene una señal digital igual a cero, para una señal analógica de entrada mayor a  $1/2$  del LSB. Fig. 4.11a

**Error de alinealidad:** Se presenta cuando en la salida digital ocurren cambios equivalentes al LSB, generados por intervalos de magnitudes distintas en la señal de entrada analógica

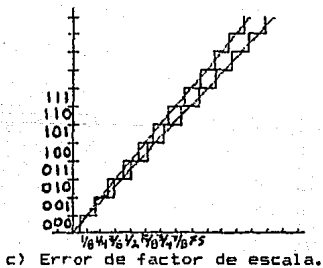
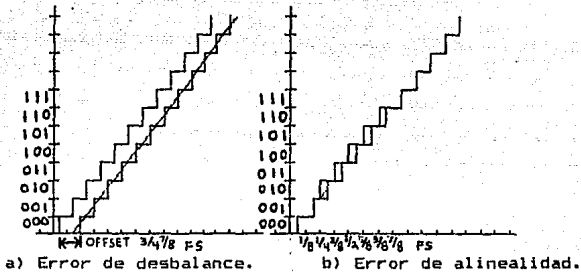


Fig. 4.11 Errores característicos de los convertidores A/D.

ca. Cuando este error es excesivo se pueden perder códigos digitales. Fig. 4.11b

Error de ruido térmico: ( ver pag. 32 )

Error de factor de escala: Se presenta cuando el valor de la última y primera transición de una conversión es diferente de (Voltaje a escala total) - (2LSB). Fig. 4.11c

Técnicas de conversión más comunes de convertidores A/D

- a. De rampa analógica
- b. Contador de rampa
- c. De aproximaciones sucesivas
- d. De doble rampa

#### 4.3.1 Técnica de rampa analógica

Este convertidor es de lazo abierto. Su diagrama de bloque básico se muestra en la fig. 4.12. Este dispositivo utiliza un oscilador fijo en combinación con un circuito que genera un ancho de pulso que es una función lineal de la tensión de entrada analógica.

Para obtener esta duración de pulso lineal variable se utiliza un generador de rampa y un circuito disparador Schmitt. Se inicia un pulso de control de puerta en el comienzo de la rampa y un circuito de conteo comienza el incremento a la frecuencia determinada. Cuando la rampa lineal alcanza el mismo valor que la señal de entrada, este conteo se termina. El valor que queda en el registro es representativo de la entrada analógica. Esta técnica de conversión se utiliza con mucha frecuencia en medidas de alta precisión con pequeñas velocidades de muestreo.

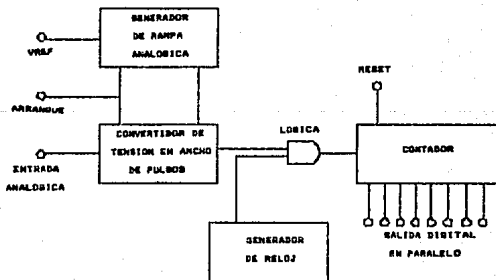


Fig. 4.12 Diagrama de bloques del convertidor A/D de rampa analógica.

### 4.3.2 Técnica contador de rampa

Esta técnica utiliza pocos componentes y en la práctica, es mucho más rápida y fácil de construir que la anterior.

En la fig. 4.13 se ilustra el diagrama de bloques básico de un convertidor contador rampa binaria. La manera de hacer funcionar el sistema es comenzar el conteo inicial en 0 y permitir que siga dicho conteo hasta que el D/A se iguale o supere a la salida analógica. La única consideración crítica en el diseño de este circuito es que la frecuencia de reloj no

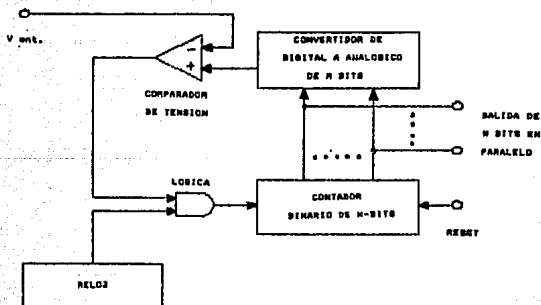


Fig. 4.13 Diagrama de bloques del convertidor A/D contador de rampa binaria.

pueda ser superior a la respuesta del comparador y del D/A. Si tardan 100  $\mu$ s estos componentes en realizar su trabajo, entonces la máxima frecuencia de reloj debe ser 10 KHz. Para un convertidor de 8 bits (contando desde 0 hasta 256 en cada período de muestra), la velocidad máxima de las muestras es 39 muestras por segundo o  $10,000/256$ .

#### 4.3.3 Técnica de aproximaciones sucesivas

En este convertidor se incorporan un D/A en un bucle de retroalimentación y un SAR (registro de aproximaciones sucesivas) ver fig. 4.14.

Inicialmente, la salida del SAR y D/A con conexión mutua están a un nivel "0". Después de un pulso de conversión de arranque, el SAR activa los bits del D/A uno cada vez, comenzando por el MSB. A medida que se activa cada bit, el comparador da una salida indicando que la señal de entrada es más grande, o más pequeña, en amplitud que la salida del D/A. Si la salida D/A es más grande que la señal de entrada, un "0" se pone en este bit particular. Si es menor que la señal de entrada, pondrá ese bit en "1". El registro se desplaza suce-

sivamente hacia el siguiente bit menos significativo (manteniendo el ajuste en los bits previamente probados) y realiza la misma prueba. Una vez que todos los bits del D/A se hayan probado, el ciclo de conversión está completo. Ocupando para ello sólo 8 ciclos de reloj, otra conversión comenzaría en el siguiente ciclo de reloj. Para mantener el valor de ocho bits entre conversiones, se podría agregar un registro de almacenamiento de 8 bits. Este convertidor es capaz de trabajar con velocidades de muestreo de más de 200,000 muestras por seg.

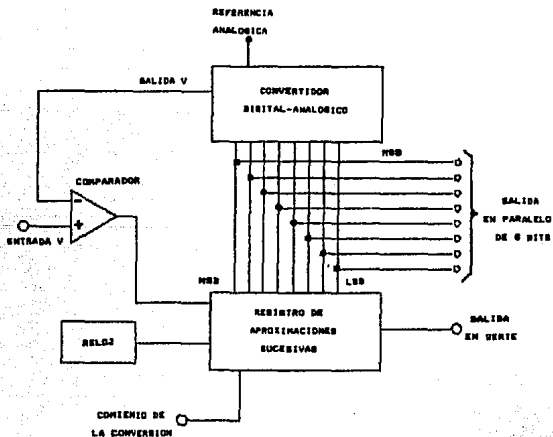


Fig. 4.14 Diagrama de bloques del convertidor A/D utilizando un SAR.



#### 4.3.4 Técnica de doble rampa

La fig. 4.15 muestra el diagrama de bloques del convertidor de doble rampa.

Las partes esenciales del convertidor son:

- a). Integrador
- b). Comparador de cruce en cero
- c). Voltaje de referencia
- d). Lógica digital

Cuando el convertidor recibe el pulso de inicio de conversión, los flipflops del contador binario se ponen en cero. Un cero a la entrada del circuito impulsor del conmutador abre S2 y cierra S1, conectando la entrada al integrador. Después que la salida del integrador pasa por cero, la salida del comparador, pasa a un estado bajo, permitiendo que los pulsos de reloj pasen por la compuerta nand al contador. Durante un intervalo de tiempo  $T_1$ , el contador cuenta hasta

0111...1, y en el siguiente pulso de reloj el contador conmutará a 1000...0. El 1 en el último flipflop hace que el conmutador abra S1 y cierre S2. Esto hace que se conecte el voltaje de referencia ocasionando que el integrador genere una señal de pendiente negativa. Cuando la salida del integrador cruza el cero, la salida del comparador irá a un estado alto, no permitiendo que los pulsos de reloj lleguen al contador. Terminando así el proceso de conversión, obteniendo a la salida una señal digital.

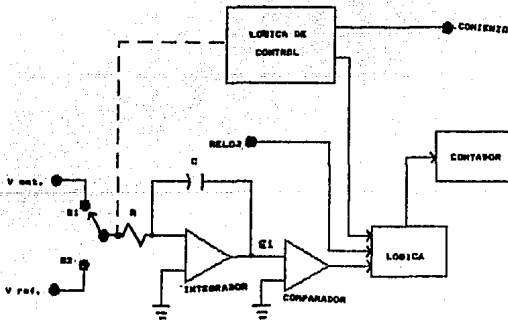


Fig. 4.15 Diagrama de bloques del convertidor A/D de doble rampa.

De esta manera, el contador mide el intervalo  $T_2$ , el cual es proporcional a  $E_1$ . El voltaje  $E_1$  se supone constante durante el intervalo de medición. Si  $E_1$  varía, la salida digital representa su valor promedio en el intervalo  $T_1$ . Este tipo de convertidor tiene la ventaja de que las tolerancias de R y C no afectan su precisión.

El voltaje y corriente de compensación del comparador, harán que éste conmute a un voltaje diferente de 0 V, pero este error se compensa automáticamente, ya que su señal de entrada cruza el cero dos veces.

Por el contrario el voltaje y corriente de compensación del integrador, debido a que no son compensados, limitan la precisión del convertidor, al igual que la desviación en el voltaje de referencia.

#### 4.3.5 Convertidor analógico digital ADC0809

##### i). Descripción general:

El circuito de adquisición de datos ADC0809 es un dispositivo monolítico CMOS. Con un convertidor analógico-digital de 8 bits, ocho canales multiplexados y es compatible a lógicas de control de distintos microprocesadores.

Este convertidor A/D de 8 bits usa la técnica de conversión de aproximaciones sucesivas, tiene una alta impedancia debido a cada uno de sus ocho interruptores analógicos internos.

El voltaje es dividido en una resistencia de carga R-2R con tres interruptores analógicos y un registro de aproximaciones sucesivas. Los ocho canales multiplexados pueden acceder una de ocho señales analógicas.

Este dispositivo elimina la necesidad externa de ajuste a cero y ajustes de escala. Es de fácil acoplo como interfaz para diferentes microprocesadores. Esta provisto de direcciones de entrada para multiplexar y decodificar, y tiene salidas TTL de tercer estado.

El diseño de este circuito (ADC0809) ha sido optimizado para incorporar aspectos que sean deseables de técnicas de conversión A/D.

El ADC0809 es de alta velocidad (tiempo de conversión 100  $\mu$ s), alta exactitud, tiene una mínima dependencia de la temperatura, excelente exactitud a variaciones de la temperatura y su consumo de potencia es mínimo.

Este circuito fue creado como un dispositivo ideal para poder ser aplicado en procesos, control de máquinas y aplicaciones en automotores.

El diagrama de bloques del ADC0809 se muestra en la fig.

4.16

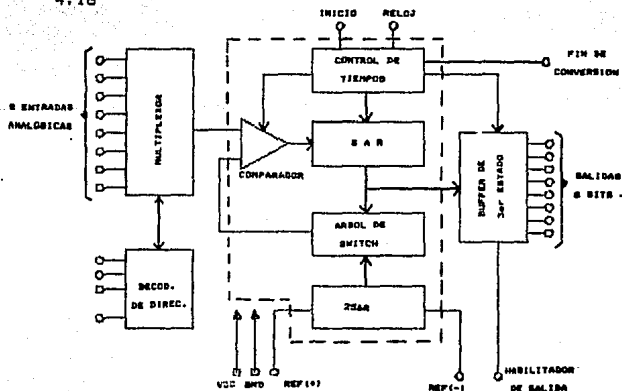


Fig. 4.16 Diagrama de bloques del CI ADC0809.

## ii). Especificaciones del circuito

- a). Resolución de 8 bits
- b). Exactitud  $\pm 1$  LSB
- c). No requiere de códigos
- d). Tiempo de conversión  $100 \mu\text{s}$
- e). Alimentación +5Vcd
- f). 8 canales multiplexados con una lógica de control
- g). Fácil de ser usado como interfaz para microprocesadores  
o puede usarse individualmente para efectuar operaciones
- h). Salidas TTL de tercer estado
- i). Para una alimentación de 5 Vdc, el rango de voltaje analógico de entrada es de 0V a 5V
- j). No requiere ajuste de cero ni ajustes de escala
- k). Viene en un encapsulado de 28 "patas"
- l). Su rango de temperatura es de  $-55^{\circ}\text{C}$  a  $+125^{\circ}\text{C}$
- m). Consume 15 mW de potencia.

### iii). Características del convertidor

La parte principal de éste circuito integrado es el convertidor A/D de 8 bits. Este convertidor fue diseñado para dar rapidez, exactitud y conversiones repetibles sobre un amplio rango de temperatura. El convertidor está dividido en tres secciones: Una red en escalera 256R, un registro de aproximaciones sucesivas y un comparador. Sus salidas digitales son positivas.

La red en escalera 256R fue seleccionada sobre la escalera R-2R ( por su característica de monotonía ), sin embargo, esto no garantiza que no existan pérdidas de códigos digitales. La monotonía es una característica importante en mallas cerradas en sistemas de control retroalimentados. Una no monotonía puede causar oscilaciones que generarían problemas en el sistema. La red 256-R no causa variaciones de carga en el voltaje de referencia.

La resistencia base y la resistencia superior de la red en escalera 256R (fig. 4.17) no son del mismo valor como el res

to de la red. La diferencia en estas resistencias causa a la salida la característica de simetría con el cero y los puntos extremos de la escala completa. La primera salida de transición ocurre cuando la señal analógica ha conseguido  $+1/2$  LSB y las salidas de transición subsiguientes ocurren cada 1 LSB después de subir la escala completa.

El registro de aproximaciones sucesivas (SAR) ejecuta ocho iteraciones para obtener una salida digital aproximada a el voltaje de entrada.

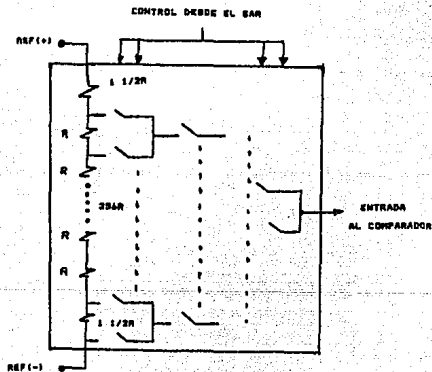


Fig. 4.17 Red en escalera 256R.



Para cualquier conversión de aproximaciones sucesivas,  $n$  iteraciones son requeridas para convertir  $n$  bits. La fig 4.18 muestra un ejemplo de convertidor de 3 bits. En el ADC0809 la técnica de aproximaciones sucesivas es extendida a 8 bits, usando la red 256R.

El SAR del convertidor A/D se encuentra conectado internamente en la orilla positiva del inicio de pulso de conversión. La conversión se inicia cuando cae el pulso de inicio de conversión. Una conversión en proceso es interrumpida con la en

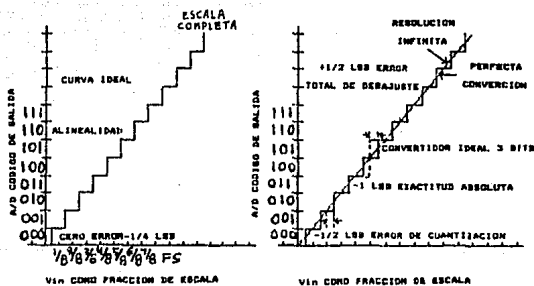


Fig. 4.18 Ejemplo de un convertidor A/D de 3 bits.

trada de un nuevo pulso de inicio de conversión y el proceso continúa hasta que se cumpla el ligado de la salida del fin de conversión a la entrada del pulso de inicio de conversión (SC). Para que el circuito trabaje de este modo, se necesita que después del encendido, se aplique un pulso de inicio de conversión. Después de esto el circuito requiere de 8 pulsos de reloj para efectuar una conversión y el proceso comienza de nuevo.

La sección más importante del convertidor A/D es el comparador. Es esta sección la que es responsable de la exactitud de la conversión entera. Es también la tendencia del comparador la que tiene influencia en la repetitividad del proceso

El comparador interruptor-estabilizador convierte la señal de entrada CD en señal CA. Esta señal es alimentada a través de un amplificador AC de alta ganancia y tiene reproducido el nivel CD.

Este convertidor está diseñado de tal manera que soporta temperaturas intensivas, variaciones térmicas y entradas de compensación de error.

## V. MICROKIT Z-80

Debido a que el objetivo de esta tesis es diseñar y construir una interfaz para que el Microkit Z-80, pueda trabajar con señales analógicas, analizaremos en forma general su organización física y lógica. Fig. 5.1 y 5.2.

### 5.1 Descripción de los elementos del Microkit Z-80

Los elementos que conforman al Microkit Z-80 son:

- a). Bus de datos
- b). Bus de direcciones
- c). Bus de control

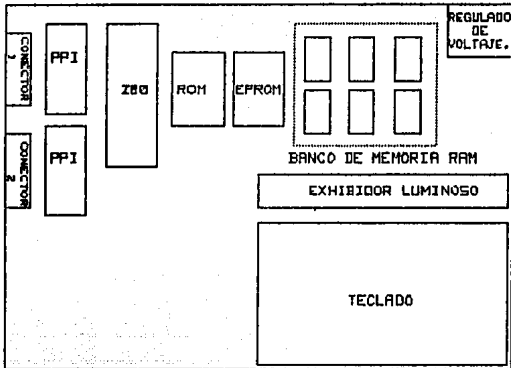


Fig. 5.1 Organización física del Microkit Z80.

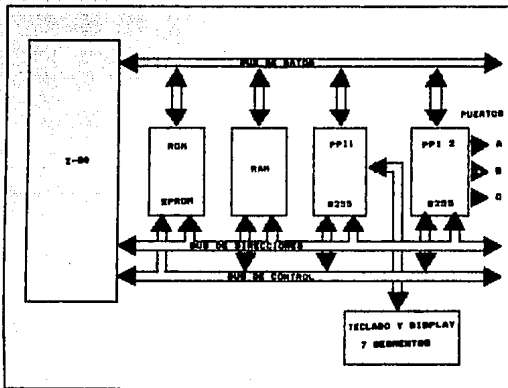


Fig. 5.2 Organización lógica del Microkit Z80.

- d). Memoria ROM
- e). Memoria EPROM
- f). Memoria RAM
- g). PPI 8255
- h). Microprocesador Z-80

a). Bus de datos

Es un bus bidireccional de 8 bits, que se utiliza para intercambiar información entre los elementos del sistema. Típicamente transporta datos de la memoria al Microprocesador, del Microprocesador a la memoria, o entre el Microprocesador y los dispositivos de E/S.

b). Bus de direcciones.

Es un bus unidireccional de 16 bits, que se utiliza para transportar las direcciones generadas por el Microprocesador, para seleccionar alguna localidad de memoria o un dispositivo de entrada salida. Esta dirección, especifica la fuente o el destino de la información que será transportada por el bus de datos.

c). Bus de control

Es un bus de 13 bits, que se utiliza para transportar señales que controlan la operación del sistema.

d). Memoria ROM

Memoria de sólo lectura (ROM). Contiene en forma permanente, el programa monitor.

e). Memoria EPROM

Es una memoria programable de sólo lectura, que se borra al exponerse a la luz ultravioleta. En esta memoria residen en forma permanente los programas de usuarios.

f). Memoria RAM

Memoria de lectura y escritura (RAM). Es donde residen en forma temporal los programas y datos del usuario, así como las localidades utilizadas por el programa monitor.

## g). PPI 8255

Es un dispositivo que permite la comunicación entre el Microprocesador y los elementos externos al Microkit Z-80 en forma digital.

## h). Microprocesador Z-80.

## 1). Configuración Externa

## 2). Configuración Interna

## 1. Configuración Externa

El Microprocesador Z-80 se implementa en un circuito integrado de 40 patas (fig. 5.3 ), con la siguiente distribución:

- Un bus de direcciones de 16 líneas
- Un bus de datos de 8 bits
- 8 señales de salida de control
- 5 señales de entrada de control
- 2 señales de alimentación
- 1 señal de reloj

**Definición funcional de las patas del Microprocesador Z-80:**

### Bus de direcciones (A0-A15).

Es un bus de 16 bits, con salidas de tercer estado que se activan en nivel alto. En donde A15 es la línea más significativa y A0 la menos significativa. Tiene una capacidad para direccionar hasta 65536 localidades de memoria (64 K). Este bus también se usa para enviar el código de selección de un dispositivo de E/S, éste código utiliza las 8 líneas menos significativas (A0 - A7), lo que permite seleccionar hasta 256 puertos de E/S.

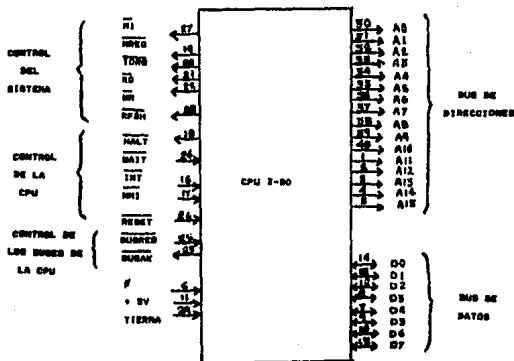


Fig. 5.3 Microprocesador Z80.



**Bus de datos (D0-D7).**

Son Entradas/Salidas de tercer estado, activas en nivel alto. Las líneas D0 - D7 proporcionan un bus de datos para comunicación bidireccional entre el Microprocesador y los dispositivos de memoria y de E/S para la transferencia de instrucciones y datos. La línea D7 es la más significativa y D0 la menos significativa.

**Señales de control.**

Las 8 señales de salida de control son:  $\overline{MI}$ ,  $\overline{MREQ}$ ,  $\overline{IORQ}$ ,  $\overline{RD}$ ,  $\overline{WR}$ ,  $\overline{RFSH}$ ,  $\overline{HALT}$ ,  $\overline{BUSAk}$ .

**Ciclo de Máquina ( $\overline{MI}$ ).**

Es una salida activa en nivel bajo, que indica el inicio del ciclo de búsqueda, del código de la instrucción que se va a ejecutar.

**Requerimiento de Memoria ( $\overline{MREQ}$ ).**

Es una salida de tercer estado que se activa en un nivel bajo. Indica que el bus de direcciones mantiene una dirección válida, para efectuar una operación de lectura o escritura en memoria.

Requerimiento de entrada/salida ( $\overline{\text{IORQ}}$ ).

Es una salida de tercer estado activa en nivel bajo. Indica que las 8 líneas de dirección de más bajo orden tienen una dirección de E/S válida para operaciones de leer o escribir en dispositivos de E/S.

Lectura de memoria ( $\overline{\text{RD}}$ ).

Es una salida de tercer estado activa en nivel bajo. Indica que el Microprocesador desea leer información de la memoria o de un puerto de E/S.

Escritura en memoria ( $\overline{\text{WR}}$ ).

Es una salida de tercer estado activa en nivel bajo. Indica que el bus de datos mantiene información válida para ser almacenada en la memoria o enviada a un puerto de E/S.

Refresco de memoria dinámica ( $\overline{\text{RFSH}}$ ).

Es una salida activa en nivel bajo. Esta señal indica que las líneas A0-A7 presentes en el bus de dirección contienen una dirección de refresco para memorias dinámicas.

### No operación (HALT)

Es una salida activa en nivel bajo. Indica que el Microprocesador esta ejecutando una instrucción HALT y espera una interrupción no-mascarable o mascarable para reanudar su operación.

### Reconocimiento del bus (BUSAK)

Salida activa en nivel bajo. Cuando un dispositivo envía a nivel bajo la señal de entrada BUSRQ solicitando el control de los buses, el Z-80 indica que los buses ya estan libres enviando a nivel bajo la salida BUSAK.

Las 5 señales de salida del Microprocesador son: WAIT, INT, NMI, RESET y BUSRQ.

### Espera (WAIT).

Es una entrada activa en nivel bajo, que indica al Microprocesador que un dispositivo de E/S o la memoria no están listos para realizar una transferencia de datos, por lo cual, permite que dispositivos de diferentes velocidades de respuesta, se sincronicen con el Microprocesador.

**Requerimiento de interrupción mascarable ( $\overline{\text{INT}}$ ).**

Es una entrada activa en nivel bajo. Es generada por los dispositivos de E/S, para que el Microprocesador maneje una interrupción mascarable.

**Requerimiento de interrupción no mascarable ( $\overline{\text{NMI}}$ ).**

Es una entrada que se activa en el cambio de nivel alto-bajo. Es generada por los dispositivos de E/S, para que el Microprocesador maneje una interrupción no mascarable.

**Restablecer ( $\overline{\text{RESET}}$ ).**

Es una entrada activa en nivel bajo. Esta señal establece al contador del programa a cero e inicializa al Microprocesador, estableciendo condiciones iniciales.

**Requerimiento del bus ( $\overline{\text{BUSRQ}}$ ).**

Es una entrada activa en nivel bajo. Indica al Microprocesador que ponga las salidas del bus de direcciones y de datos en alta impedancia.

## 2). Configuración interna

El Microprocesador Z-80 internamente está compuesto por: (Fig. 5.4 )

### i). Registro de instrucciones.

En este se almacenan los códigos de instrucción que posteriormente se envían al decodificador.

### ii). Decodificador y Unidad de control.

El decodificador se encarga de interpretar el código de las instrucciones para indicarle a la unidad de control

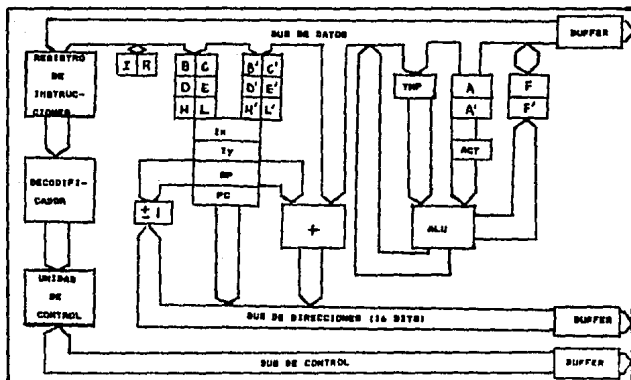


Fig. 5.4 Configuración interna del Microprocesador Z80.

que envíe las señales de sincronización a los elementos internos, y externos al Microprocesador.

iii). Registros de propósito general.

Se utilizan para almacenar, en forma temporal, datos de un programa y están etiquetados con las letras A, B, C, D, E, H y L. Existe otro conjunto complementario denotado por las letras A', B', C', D', E', H' y L'.

iv). Registros de propósito especial.

Son los registros PC, SP, Ix, Iy, I, R.

El contador de programa (PC) contiene la dirección de memoria de la siguiente instrucción a ser ejecutada. El contenido del PC se incrementa en 1, después de que se transfiere al bus de direcciones.

El apuntador del stack (SP), mantiene la dirección de la parte alta del stack, que esta localizado en alguna parte de la memoria RAM.

Los registros de indice (Ix, Iy), se utilizan como apuntadores base cuando se desea acceder una tabla de datos en memoria.

El registro de interrupción (I), es usado solo en un modo especial, en donde un llamado indirecto a una localidad de memoria, es generado como respuesta a una interrupción. El registro I se usa para almacenar la parte alta de la dirección indirecta.

El registro de refresco de memoria (R), apunta al bloque de memoria que será refrescado.

v). Acumuladores y registros de banderas.

Existen dos acumuladores (A y A') de 8 bits, asociados con sus respectivos registros de banderas (F y F'). En el acumulador es donde se mantiene el resultado de las operaciones aritméticas o lógicas de 8 bits; el registro de banderas, mantiene condiciones específicas del resultado de operaciones de 8 o 16 bits; tales banderas se muestran a continuación:

Bit --> 7 6 5 4 3 2 1 0  
 Banderas --> | S | Z | \* | H | \* | IP/VI | N | C |

Bit	Nombre de la bandera
0	Carry: 1 - Hay Carry 0 - No Hay Carry
1	Suma/Resta: 1 - Resta 0 - Suma
2	Paridad/Overflow: 1 - Paridad par, Overflow 0 - Paridad impar, no Overflow
3	*****
4	Carry Intermedio: 1 - Hay Carry 0 - No hay Carry
5	*****
6	Cero 1 - El resultado es cero 0 - El resultado no es cero
7	Signo 1 - Negativo 0 - Positivo



vi). Unidad Aritmética Lógica (ALU).

Es donde se realizan las siguientes operaciones aritméticas y lógicas:

- Suma
- Resta
- Incremento
- Decremento
- AND Lógico
- OR Lógico
- OR exclusivo
- Rotación lógica o aritmética
- Comparación
- Manejo de bits

## VI. DISEÑO DEL HARDWARE

El diseño del hardware de ésta interfaz fué generado por medio de dos etapas:

**Etapas de entrada:** Esta sección del hardware se encarga de convertir una señal analógica de entrada, en una señal digital para que el Microkit Z-80 pueda procesarla.

**Etapas de salida:** Esta sección del hardware se encarga de convertir una señal digital procesada por el Microkit Z-80 a una señal analógica de salida.

## 6.1 Etapa de entrada

### a). Lógica de control de entrada

Esta lógica se implementa con las siguientes señales del microprocesador:

1). Las líneas de dirección (A0-A7) para determinar un puerto de entrada y direccionar los ocho canales de entrada requeridos por ésta interfaz.

2). La señal requerimiento de entrada/salida ( $\overline{\text{IORQ}}$ ), para indicar que las líneas (A0-A7) mantienen una dirección válida para efectuar una operación de lectura en un puerto de entrada.

3). La señal de lectura ( $\overline{\text{RD}}$ ), para indicar que el microprocesador desea leer información de un puerto de entrada.

Determinación de un puerto de entrada que responda a ocho direcciones específicas:

Las direcciones a las cuales responderá el puerto son: 48H, 49H, 4AH, 4BH, 4CH, 4DH, 4EH, 4FH.

NOTA: Se seleccionan estas direcciones para facilitar la activación del CI 74138, el cual se analizará más adelante.

Tabla 6.1.1

A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0
0	1	0	0	1	0	0	0
0	1	0	0	1	0	0	1
0	1	0	0	1	0	1	0
0	1	0	0	1	0	1	1
0	1	0	0	1	1	0	0
0	1	0	0	1	1	0	1
0	1	0	0	1	1	1	0
0	1	0	0	1	1	1	1

De lo anterior se observa que las líneas A3, A4, A5, A6, A7 conservan el mismo estado en las ocho direcciones, las cuales junto con las señales  $\overline{\text{IORQ}}$  y  $\overline{\text{RD}}$  activarán al circuito decodificador CI 74138, el cual fué seleccionado por su disponibilidad en el laboratorio de microprocesadores de esta facultad y que además satisface los requerimientos mencionados

anteriormente. Las líneas A0, A1 y A2 se usan para direccionar uno de los ocho canales de entrada de la interfaz, sin embargo, necesitamos retener tanto esta dirección como la salida seleccionada del decodificador CI 74138, por lo cual nos auxiliamos del Flip-Flop tipo D, CI 74273, el cual satisface nuestros requerimientos. El diagrama de esta lógica de control a parece en la fig. 6.1.

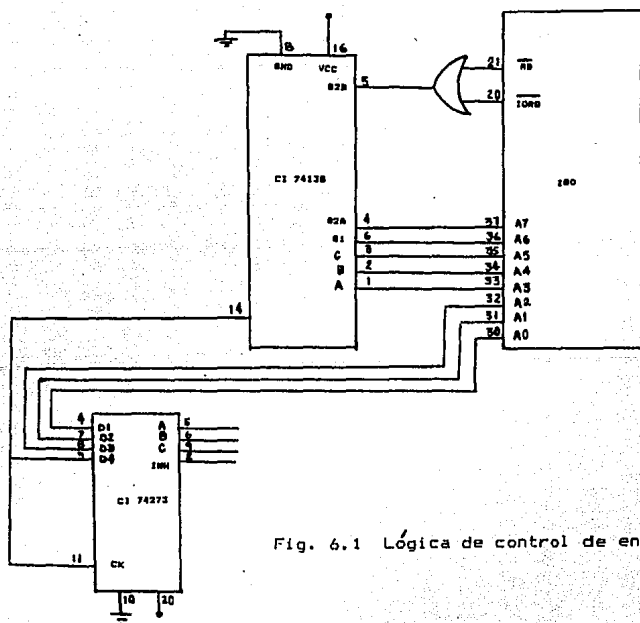


Fig. 6.1 Lógica de control de entrada.



**b). Selector de canales de entrada**

Una vez determinada la lógica de control por las señales del Microprocesador Z-80, la señal ingresa a la interfaz por medio de un CI 4051 (activado como multiplexor analógico), el cual consta de ocho canales de entrada. Cada uno de estos ocho canales serán seleccionados por las líneas de selección A B y C, activando previamente la señal (INH), la cual habilita al circuito.

NOTA: El CI 4051 se utiliza, por su disponibilidad en el laboratorio de microprocesadores de ésta facultad.

**c). Convertidores de escala**

Debido a que los requerimientos de ésta interfaz son de trabajar con dos rangos de escala (-5 a +5 volts) y (0 a 10 volts), surge la necesidad de implementar una sección de conversión de escala, para así, tener un rango común de voltaje de entrada hacia otros dispositivos. En este caso el circuito convertidor A/D ADC0809 el cual requiere un rango de 0 a +5

volts de entrada (La configuración externa de éste circuito se analizará posteriormente). Por lo tanto la relación de escala para ambos rangos será de 0 a +5 volts.

Una vez determinados los requerimientos anteriores, hablaremos brevemente del circuito Amplificador Operacional, ya que con el nos auxiliaremos para obtener la relación de escala deseada.

La configuración básica del A.O. implementado como amplificador inversor aparece en la fig. 6.2.

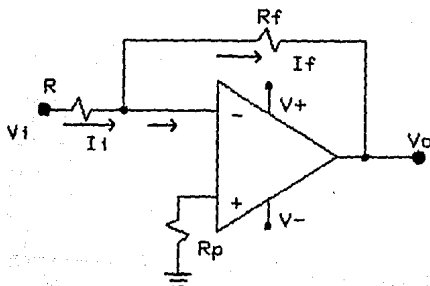


Fig. 6.2 Configuración básica de un amplificador inversor con un A.O.



Su ganancia queda determinada por la siguiente relación :

$$A_{vf} = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-R_f}{R} \dots\dots\dots(1)$$

De donde el signo negativo indica que la señal ha sido de fasada 180°.

Esta configuración la usaremos para obtener la relación de escala del rango de voltaje de 0 a +10 volts.

La relación de escala que se desea es:

Voltaje de entrada a la interfaz (Vi)	(volts)	Voltaje deseado (Vd)	(volts)
0	-----	0	
5	-----	2.5	
10	-----	5	

Analizando los valores de la tabla anterior, nos damos cuenta que necesitamos una ganancia de 0.5, por lo tanto:

$$\boxed{A_v f = 0.5}$$

De la ecuación (1)

$$0.5 = \frac{R_f}{R} \dots \dots \dots (2)$$

Por criterios de diseño fijamos:

$$\boxed{R_f = 12 K}$$

Despejando R de la ecuación (2) tenemos:

$$R = \frac{R_f}{0.5} = \frac{12K}{0.5}$$

Por lo tanto:

$$\boxed{R = 24 K}$$

Por criterios de diseño fijamos a  $R_p$  ( resistencia de balanceo para eliminar el offset ) en 10K.

$$R_p = 10K$$

La configuración básica de un A.O. implementado como sumador inversor aparece en la figura 6.3.

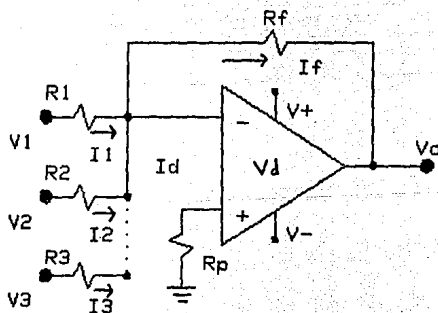


Fig. 6.3 Configuración básica de un amplificador sumador inversor con un A.O.

Su ganancia queda determinada por la siguiente relación:

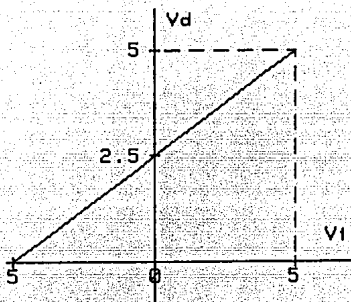
$$V_o = -R_f \left( \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \dots + \frac{V_n}{R_n} \right)$$

En donde el signo negativo representa que la señal ha sido defasada 180°.

Esta configuración la usaremos para obtener la relación de escala de el segundo rango de voltaje (-5 a +5 volts). La relación de escala que se desea es:

Voltaje de entrada a la interfaz (Vi) (volts)	Voltaje deseado (Vd) (volts)
-5	0
0	2.5
5	5

Representando la tabla anterior gráficamente tenemos :



Obteniendo la ecuación de la recta:

$$V_d = mV_i + b \dots\dots\dots (3)$$

En donde

$$m = \frac{2.5}{5} = 0.5 \dots\dots\dots (4)$$

$$V_d = 0.5V_i + 2.5 \dots\dots\dots (5)$$

Por lo tanto:

$$V_d = 0.5(V_i + 5) \dots\dots\dots (6)$$

De la ecuación (5) observamos que se requiere de un voltaje constante de 2.5 volts, el cual obtendremos por medio de un divisor de voltaje como se muestra en la fig. 6.4.

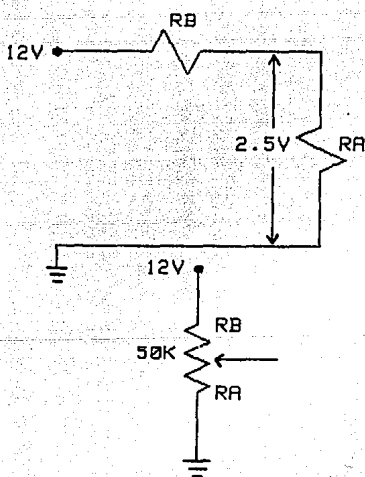


Fig. 6.4 Divisor de voltaje con un potenciómetro de 50K.

Utilizando un potenciómetro de 50K para obtener un valor más exacto a 2.5 volts.

Tenemos que :

$$50K = RA + RB \dots\dots\dots(7)$$

Por divisor de voltaje:

$$RA = \frac{50(2.5)}{12}$$

Por lo tanto:

$$| RA = 10.42K |$$

Y;

$$RB = \frac{50(9.5)}{12}$$

Por lo tanto:

$$| RB = 39.58K |$$

De la ecuación (5) observamos que el término  $V_i$  tiene una ganancia de 0.5 y el término constante (2.5) tiene una ganancia unitaria.

Por lo tanto:

$$V_o = \frac{(R_f)(V_i)}{R_1} + \frac{(R_f)(2.5)}{R_2} \dots\dots\dots (8)$$

Sustituyendo valores:

$$V_o = \frac{(12K)(V_i)}{R_1} + \frac{(12K)(2.5)}{R_2} \dots\dots\dots (9)$$

Igualando la ecuación (9) y (5) tenemos que :

$$\frac{(12K)(V_i)}{R_1} = 0.5V_i$$

Despejando  $R_1$  :

$$R_1 = \frac{12K}{0.5} = 24K$$

Quedando así:

$$| R_1 = 24K |$$



Igualando el segundo término

$$\frac{(12K)(2.5)}{R2} = 2.5$$

Despejando R2:

$$R2 = \frac{(2.5)(12K)}{2.5} = 12K$$

$$R2 = 12K$$

Nota: Debido a que las etapas de conversión de escala anteriores defasan la señal  $180^\circ$ , utilizaremos un A.O. implementado como amplificador inversor de ganancia unitaria, el cual defasa la señal  $180^\circ$ , obteniendo así un defasamiento total de  $360^\circ$ .

De lo anterior tenemos:

$$Avf = \frac{Rf}{R} = 1$$

Fijando  $R_f$  a 12K tenemos:

$$R = \frac{12K}{1} = 12K$$

$$R = 12K$$

La sección completa de conversión de escala aparece en la fig. 6.5.

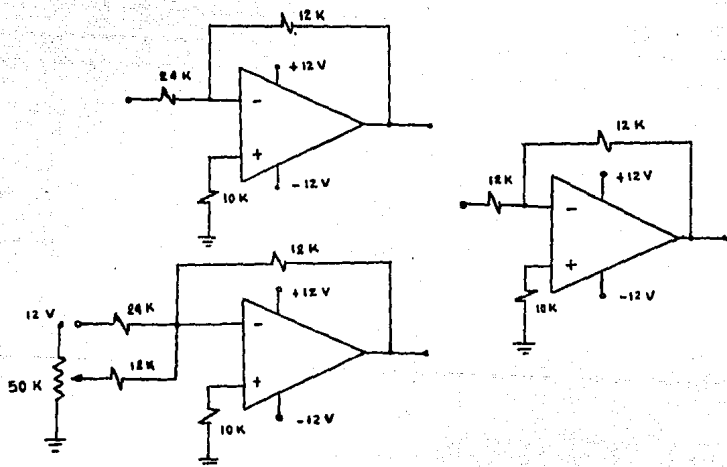


Fig. 6.5 Sección de conversión de escala.

Una vez que la señal ha pasado por la sección de conversión de escala, se tiene ya un rango común de voltaje para cualquiera de las dos escalas que se haya utilizado, empleando a continuación el C.I. 4051 (activado como demultiplexor analógico), el cual por medio de la lógica de control de entrada, coloca a la señal en el canal que se haya seleccionado, así mismo el C.I. 4051 sirve de acoplo con el convertidor analógico digital ADC0809.

#### d). Convertidor Analógico Digital

Existen dos alternativas para implementar un convertidor analógico digital (A/D):

- i). Construir un A/D con elementos discretos.
- ii). Utilizar un circuito integrado A/D.

Utilizaremos la segunda opción, debido a que existe en el mercado el CI ADC0809, el cual entre sus características tiene una resolución de 8 bits y usa la técnica de conversión de aproximaciones sucesivas (la cual es una de las más rápidas y realiza la conversión en un tiempo constante).

Las señales del CI ADC0809 para adaptarlo a nuestros requerimientos, se activan de la siguiente manera (Fig. 6.6 ).

- Las ocho entradas analógicas (IN0-IN7) se acoplan directamente al CI 4051 (activado como demultiplexor analógico).
- Las líneas de dirección A,B y C se conectan a la lógica de entrada, para que así respondan al canal seleccionado inicialmente.

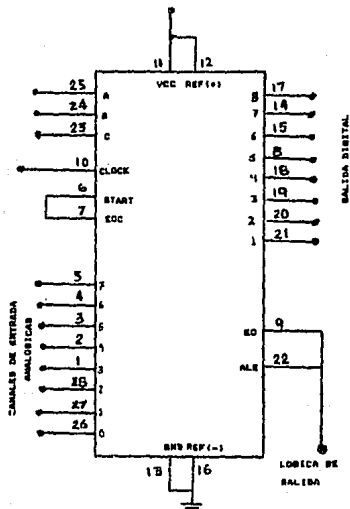


Fig. 6.6 Configuración externa del CI ADC0809.

- La señal de habilitación de dirección (ALE) se conecta a la lógica de salida ( de la cual hablaremos en la etapa de salida ).
- La señal de fin de conversión ( EOC ) se conecta a la señal de inicio de conversión (START), para que así al terminar una conversión la señal EOC active a la señal START, indicándole el inicio de una nueva conversión.
- La señal de habilitación de salida de datos (OE) se conecta a la lógica de salida.
- La señal de reloj (CK) se conecta directamente al reloj del Microprocesador Z-80, para que ambos trabajen a la misma frecuencia.
- Las señales: VCC y VREF(+) se conectan a +5 V.
- Las señales: GND y VREF(-) se conectan a tierra.
- Las señales de datos (D0-D7) se conectan directamente a las señales de datos (D0-D7) del Microprocesador Z-80.

El proceso que se realiza en ésta sección es el siguiente:  
La señal analógica ingresa por uno de los ocho canales (IN0-IN7), después internamente es convertida en señal digital mediante la técnica de aproximaciones sucesivas, obteniendo así al final de cada conversión una señal digital en ocho bits, la cual sale por las líneas de datos (D0-D7), e ingresa directamente al Microprocesador Z-80 para ser procesada.

La etapa completa de entrada se representa en la fig. 6.7.

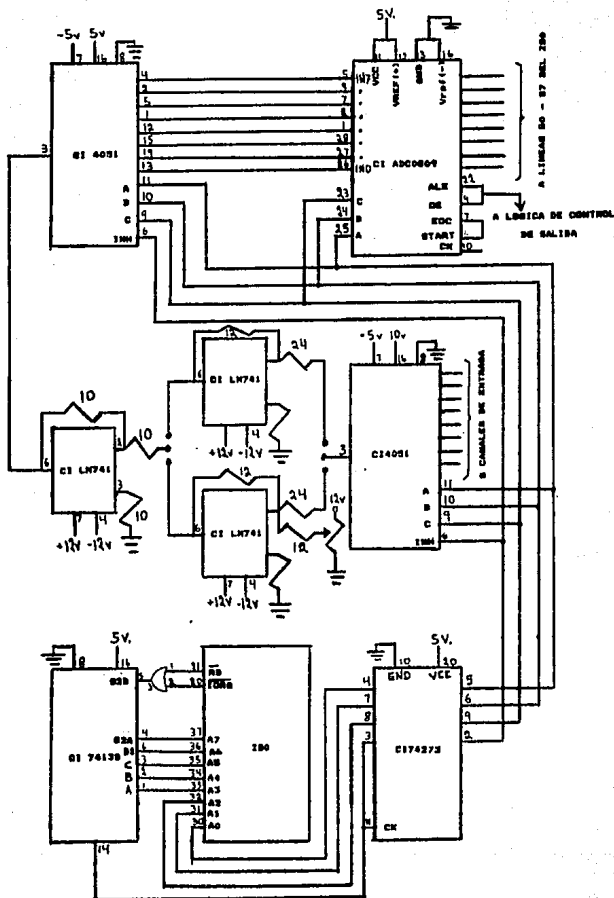


Fig. 6.7 Etapa de entrada.

## 6.2 Etapa de Salida

### a). Lógica de control

Esta lógica se implementa con las siguientes señales del microprocesador:

1). Las líneas de dirección (A0-A7) para determinar un puerto de salida y direccionar los ocho canales de salida requeridos por ésta interfaz.

2). La señal requerimiento de entrada/salida ( $\overline{\text{IORQ}}$ ), para indicar que las líneas (A0-A7) mantienen una dirección válida para efectuar una operación de escritura en un puerto de salida.

3). La señal de escritura ( $\overline{\text{WR}}$ ), para indicar que el microprocesador desea escribir información por un puerto de salida.

Determinación de un puerto de salida que responda a ocho direcciones específicas:

Las direcciones a las cuales responderá el puerto, (como se mencionó anteriormente) son: 4BH, 49H, 4AH, 4BH, 4CH, 4DH, 4EH, 4FH.



Tabla 6.2

A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0
0	1	0	0	1	0	0	0
0	1	0	0	1	0	0	1
0	1	0	0	1	0	1	0
0	1	0	0	1	0	1	1
0	1	0	0	1	1	0	0
0	1	0	0	1	1	0	1
0	1	0	0	1	1	1	0
0	1	0	0	1	1	1	1

De lo anterior se observa que las líneas A3, A4, A5, A6, A7 conservan el mismo estado en las ocho direcciones, las cuales junto con las señales  $(\overline{WR})$  y  $(\overline{IORQ})$  activarán al circuito decodificador CI 74138 y las líneas A0, A1 y A2 se usan para direccionar uno de los ocho canales de salida de la interfaz, sin embargo, necesitamos retener tanto estas direcciones como la salida seleccionada del circuito decodificador CI 74138, por lo cual nos auxiliamos del circuito Flip-Flop tipo D, CI 74273, el cual satisface nuestros requerimientos. El diagrama de esta lógica de control aparece en la fig. 6.8

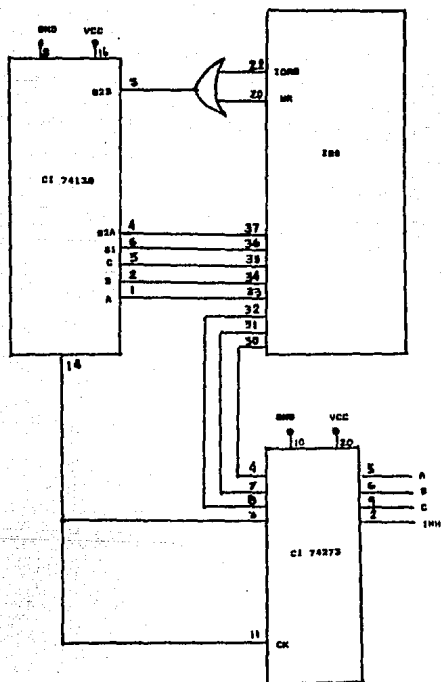


Fig. 6.8 Lógica de control de salida.

Una vez determinada la lógica de control de la etapa de salida, nos auxiliaremos de un CI 74273 (flipflop tipo D), para que retenga temporalmente la señal digital que haya sido procesada por el Microprocesador Z-80. La frecuencia de trabajo de el circuito CI 74273 es determinada por la lógica de control de la etapa de salida.

b). Convertidor digital analógico.

Después de que la señal digital es retenida por el CI74273 ésta ingresa al convertidor Digital Analógico CI MC1408, el cual la convierte en señal analógica usando la técnica de resistencias R-2R.

Nota: Se usa el CI MC1408, debido a que es el Convertidor Digital Analógico con que cuenta el laboratorio de Microprocesadores de ésta Facultad, y que además satisface los requerimientos.

La configuración externa del convertidor digital analógico se realiza en base a las características que el fabricante da del CI MC1408, las cuales aparecen en la siguiente tabla:

	Símbolo	Valor mínimo	Valor máximo	Unidades
Voltaje de referencia	$V_{rf}$	-	+5	Vcd
Corriente de referencia	$I_{ref}$	-	5	mA
Voltajes de alimentación	$V_{cc}$	-	5.5	Vcd
	$V_{ee}$	-	-16.5	Vcd
Capacitor de compensación	C	15	-	pF
Resistencia de referencia	$R_{15}$	1	-	K
Voltaje de salida	$V_o$	-5.2	0.5	Vcd

De acuerdo a las características anteriores, seleccionaremos los siguientes valores:

Voltaje de referencia  $\left| \begin{array}{c} \text{-----} \\ \text{Vref=5V} \\ \text{-----} \end{array} \right|$

Capacitor de compensación  $\left| \begin{array}{c} \text{-----} \\ \text{C=33 pF} \\ \text{-----} \end{array} \right|$

$\left| \begin{array}{c} \text{-----} \\ \text{R15=3.3K} \\ \text{-----} \end{array} \right|$

Por criterios de diseño se selecciona  $I_{rf}=2.5 \text{ mA}$

De lo anterior tenemos que:

$$\frac{V_{ref}}{R14} = I_{rf}$$

Despejando R14

$$R14 = \frac{V_{ref}}{I_{rf}} = \frac{5V}{2.5mA}$$

Por lo tanto:

$\left| \begin{array}{c} \text{-----} \\ \text{R14= 2 K} \\ \text{-----} \end{array} \right|$

Nota: Debido a que el valor anterior no es comercial, se ajusta mediante un potenciómetro.

El voltaje de salida del Convertidor Digital Analógico, es tá dado por la siguiente relación:

$$V_o = - \frac{V_{ref}}{R_{14}} R_s \left( \frac{A_1}{2} + \frac{A_2}{4} + \frac{A_3}{8} + \dots + \frac{A_0}{256} \right)$$

De la relación anterior: cuando todas las entradas (A1-AB) son '1', tenemos que:

$$V_o = - \frac{V_{ref}}{R_{14}} R_s \left( \frac{255}{256} \right)$$

Ajustando  $R_s$  para tener un  $V_o = -5$  Volts

$$\boxed{R_s = 2.008K \quad |}$$

Nota: el valor de  $R_s$  se fija mediante un potenciómetro, ya que su valor no es comercial.

Para cuando todas las entradas son '0', tenemos que:

$$V_o = - \frac{V_{ref}}{R_{14}} R_s [ 0 ]$$

$$V_o = 0 \text{ volts}$$

La configuración externa del CI MC140B aparece en la fig 6.9

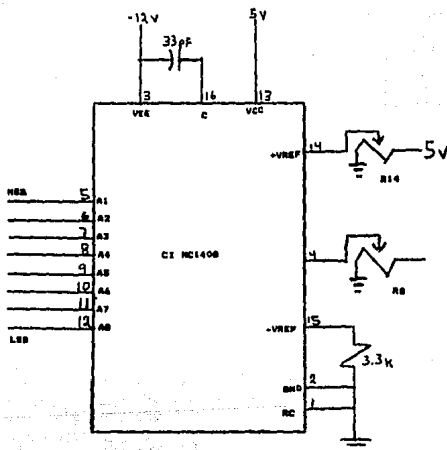


Fig. 6.9 Configuración externa del CI MC140B.

## c). Convertidores de escala.

Del análisis anterior, tenemos que el voltaje de salida del convertidor se encuentra en un rango de 0 a -5 Volts. Por lo cual nos auxiliaremos nuevamente del circuito amplificador operacional.

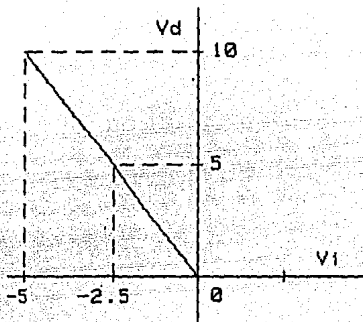
Para obtener la relación de escala de 0 a 10 volts, se implementa un A.O. como circuito amplificador inversor.

La relación de escala se determina por la siguiente tabla:

Voltaje de salida del CI MC1408 (Vi)	Voltaje deseado (Vd)
(volts)	(volts)
0	0
-2.5	5
-5	10



Representando gráficamente la tabla anterior:



Obteniendo la ecuación de la recta:

$$V_d = mV_i + b$$

En donde

$$m = \frac{10}{-5} = -2$$

$$V_d = -2V_i + 0$$

Por lo tanto:

$$| V_d = -2 V_i |$$

De lo anterior se observa que la ganancia del A.O. es de -2

$$A_{vf} = -2$$

De la ecuación (1)

$$-2 = - \frac{R_f}{R}$$

Por criterios de diseño, se selecciona  $R_f = 24K$

De lo anterior tenemos que:

$$R = \frac{24K}{2}$$

Por lo tanto:

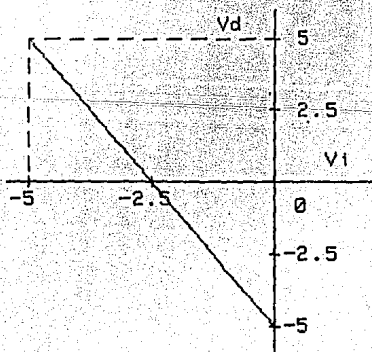
$$| R = 12 K |$$

Para obtener la relación de escala de -5 a +5 volts, se implementa un A.O. como circuito amplificador sumador inversor.

La relación de escala se determina por la siguiente tabla:

Voltaje de salida del CI MC1408 ( $V_i$ ) (volts)	Voltaje deseado ( $V_d$ ) (volts)
0	-5
-2.5	0
-5	+5

Representando gráficamente la tabla anterior:



Obteniendo la ecuación de la recta:

$$V_d = mV_i + b$$

En donde

$$m = \frac{-5}{2.5} = -2$$

$$V_d = -2V_i - 5 \quad \text{-----} \quad (12)$$

$$V_d = -(2V_i + 5) \quad \text{-----} \quad (13)$$

De la ecuación (13) se observa que la ganancia del término  $V_i$  es de 2 y la ganancia del término constante (+5) es unitaria.

De lo anterior

$$V_d = \frac{R_f}{R_1} V_i + \frac{R_f}{R_2} \quad (5)$$

Por criterios de diseño, se selecciona  $R_f = 24K$

Sustituyendo valores, se tiene que:

$$V_d = \frac{24K}{R_1} V_i + \frac{24K}{R_2} \quad (5) \quad \text{-----} \quad (14)$$

Igualando la ecuación (14) con (13), tenemos:

$$\frac{24K}{R1} V_i = 2V_i$$

De lo anterior tenemos que:

$$R1 = \frac{V_i}{2V_i} (24K)$$

Por lo tanto

$$R1 = 12 K$$

y)

$$\frac{24K}{R2} (5) = 5$$

De lo anterior

$$R2 = \frac{24K}{5} (5)$$

Por lo tanto

$$R2 = 24 K$$

La sección completa de conversión de escalas aparece en la fig. 6.10.

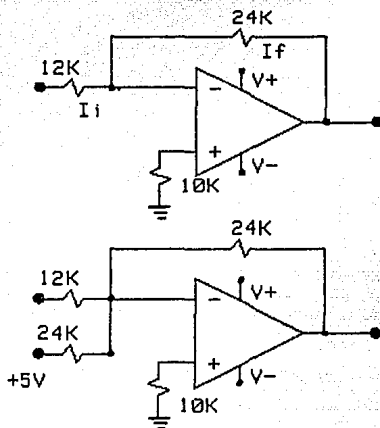


Fig. 6.10 Sección completa de conversión de escala.

Una vez que la señal ha pasado por la sección de conversión, se tienen ya los rangos deseados de acuerdo a los requerimientos de la interfaz, para así poder trabajar en una escala de 0 a 10 Volts o bien en la escala de -5 a +5 Volts.

## d). Selector de canales de salida

La última sección de la etapa de salida consta de un CI4051 (activado como demultiplexor analógico), el cual se encarga de mandar la señal analógica por el canal de salida que se ha ya seleccionado, mediante la lógica de control de salida, fig. 6.11.

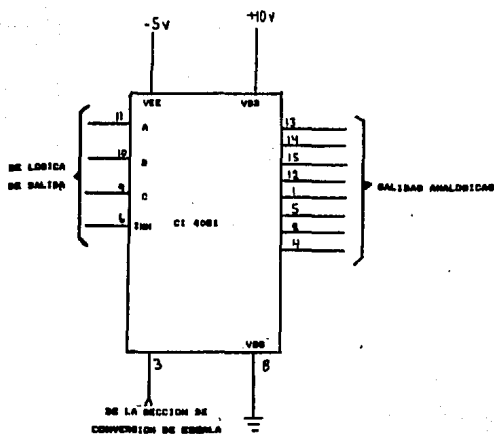


Fig. 6.11 Diagrama de conexiones del CI 4051.

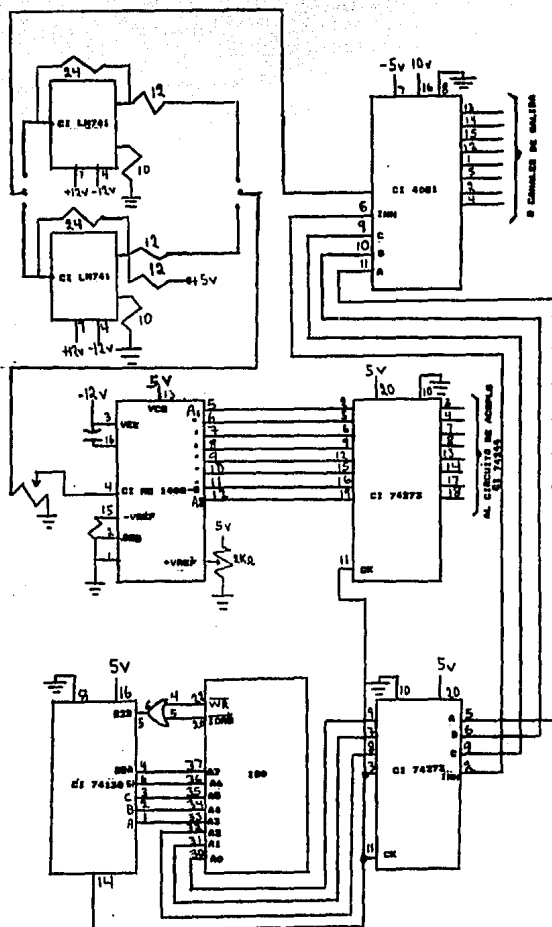


Fig. 6.12 Etapa completa de salida.



Acoplo de la etapa de entrada con la etapa de salida

Para acoplar la etapa de entrada con la etapa de salida nos auxiliamos de un CI 74244 (buffers de tercer estado), el cual se activa mediante la lógica de control de salida.

La configuración externa de éste circuito aparece en la fig. 6.13.

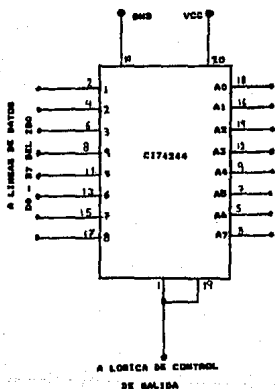


Fig. 6.13 Configuración externa del CI 74244.

Las líneas Y1-Y8 se conectan a las líneas D0-D7 del Micro procesador Z-80 y las líneas A1-AB se conectan a las entradas D1-DB del CI 74273.

### 6.3 Fuente de alimentación a la interfaz

Finalmente se diseña una sección de alimentación a la interfaz, para que así tenga su fuente de alimentación propia, evitando con esto el requerir de varias fuentes de alimentación, externas.

Esta etapa tiene como finalidad proveer cuatro niveles de voltaje CD, necesarios para alimentar los circuitos de ésta interfaz.

## VII. MANUAL DEL USUARIO

En este capítulo se describen los pasos necesarios para que el usuario pueda emplear adecuadamente esta interfaz.

### 7.1 Descripción física.

Esta interfaz se encuentra contenida dentro de un chasis acrílico (fig. 7.1), tiene un panel frontal de control el cual cuenta con:

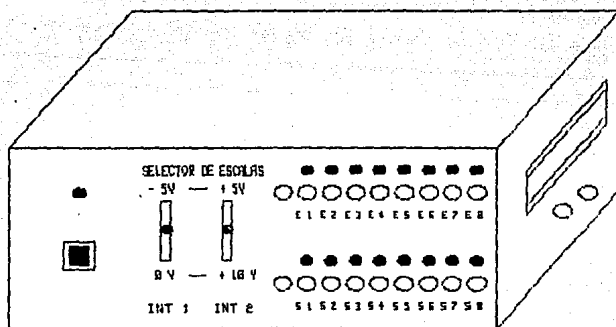


Fig 7.1 Interfaz de puertos analógico-digitaes de E/S.

- a). Un botón de encendido
- b). Un led indicador de encendido
- c). Un selector de escala de entrada (INT 1)
- d). Un selector de escala de salida (INT 2)
- e). Ocho canales de entrada (E1, E2, E3, ...E8)
- f). Ocho leds indicadores de canales de entrada
- g). Ocho canales de salida (S1, S2, S3, ... S8)
- h). Ocho leds indicadores de canales de salida.

En su panel lateral derecho se encuentran: los conectores para acoplar el Microkit Z80 y una alimentación de 8 VCD, para el Microkit Z80.

En la parte posterior se encuentra el cable de alimentación, para conectarse a la línea de 120 VCA, y un fusible de protección.

## 7.2 Instalación de la interfaz

En esta sección se describen los pasos necesarios para su adecuada instalación.

1. Conectar el Microkit Z80 en la parte lateral derecha de la interfaz.
2. Conectar los cables de alimentación del Microkit Z80 en la parte lateral derecha.
3. Seleccionar la escala de entrada deseada, mediante el interruptor INT1, que se encuentra en el panel frontal.
4. Seleccionar la escala de salida deseada, mediante el interruptor INT2, que se encuentra en el panel frontal.
5. Conectar la señal analógica a procesar en el canal de entrada deseado ( E1, E2, ... , E8).
6. Conectar un instrumento de medición o un dispositivo que requiera de señales analógicas, en el canal de salida deseado ( S1, S2, ... , S8).
7. Pulsar el boton de encendido que se encuentra en el panel frontal.

### 7.3 Operación de la interfaz.

Una vez instalada la interfaz se procede a interactuar con

el Microkit Z80, manipulando directamente sus comandos o bien creando algún programa de lectura y/o escritura en sus puertos de E/S, para así poder procesar señales de tipo analógico.

A continuación se describen algunos parámetros que es necesario conocer, para la interpretación de lecturas en el Microkit Z80, de señales analógicas:

a). Relación entre el número de canal de E/S, y la dirección a la cual responde.

Número de Canal de E/S.	Dirección a la cual responde.
1	4BH
2	49H
3	4AH
4	4BH
5	4CH
6	4DH
7	4EH
8	4FH

## b). Resolución de la conversión analógica a digital.

La resolución esta dada por la siguiente relación:

$$\text{Resolución} = \frac{\text{Rango de voltaje de entrada seleccionado}}{2^n}$$

Donde :

$$n = 8 \text{ bits}$$

Y:

El rango de voltaje de entrada para ambas escalas es de 10 Volts.

De lo anterior:

$$\text{Resolución} = \frac{10 \text{ V}}{256} = .0390625$$

## c). Interpretación de lecturas en el Microkit Z80.

El valor digital de una señal analógica desplegado en el Microkit Z80, es en hexadecimal, sin embargo, para una interpretación más práctica de su



voltaje real, se recomienda convertir éste valor hexadecimal a decimal, por lo que a continuación se da una tabla de equivalencias entre ambas bases.

Valor en hexadecimal	Valor en decimal	
00H -----	0	Valor mínimo de la conversión
80H -----	128	Valor medio de la conversión
FFH -----	255	Valor máximo de la conversión

Nota: Para convertir un valor en hexadecimal a decimal, se utiliza la siguiente relación:

$$XY_{16} = \left( (X)(16)^1 + (Y)(16)^0 \right)_{10}$$

La relación para determinar el voltaje real de una señal analógica, a partir de su lectura digital en el Microkit Z80 es:

$$\text{Voltaje real} = V_{me} + ( (V_{ld})(\text{Resolución}) ) \dots (7.3)$$

Donde:

Vme= Valor mínimo de la escala seleccionada

Vld= Valor de la lectura en base diez.

Ejemplo: Si se selecciona para una señal analógica, una escala de entrada de 0 a 10 V, y se tiene desplegado en el Microkit Z80 un valor de 80H, para conocer su voltaje real se hace lo siguiente:

$$80_{16} = 8 \times 16^1 + 0 \times 16^0 = 128_{10}$$

Por lo tanto:

$$\text{Voltaje real} = 0 + ( (128)(0.03906250) )$$

$$\text{Voltaje real} = 5 \text{ Volts.}$$

Si se selecciona ahora una escala de entrada de -5 a +5 V y se obtiene en el display del Microkit Z80 la misma lectura de 80H, su voltaje real es:

$$\text{Voltaje real} = -5 + [ (128)(0.03906250) ]$$

$$\text{Voltaje real} = 0 \text{ Volts.}$$

#### 7.4 Aplicaciones prácticas de la interfaz.

A continuación se describen algunas aplicaciones que pueden ser de uso práctico, para los alumnos que requieren trabajar con el equipo del laboratorio de microprocesadores de esta Facultad.

- a). Determinación del voltaje de una señal analógica, en un instante de tiempo.

Ejemplo: Se desea determinar el voltaje de una señal analógica en el canal de entrada E3, con una escala de referencia de 0 a 10V.

Nota: La dirección a la cual responde el canal E3 es 4AH (como se vio anteriormente).

Los pasos a seguir son:

- 1.- Seleccionar la escala de entrada de 0 a 10V mediante el interruptor INT1.
- 2.- Conectar la señal analógica en el canal de entrada E3.

## 3.- Ejecutar los comandos:

Tecla a oprimir	Desplegado en el exhibidor
COM 1	C O 1
E/S	P E
4	P E _ 4
A	P E 4 A
OTRO	P E 4 A X X

Donde XX es el valor digital de la conversión en notación hexadecimal.

## 4.- Para conocer su voltaje real aplicar la ecuación (7.3).

Suponiendo que el valor digital es FFH entonces:

$$FF_{16} = 15 \times 16^1 + 15 \times 16^0 = 255$$

$$\text{Voltaje real} = 0 + (255)(0.0390625) = 10 \text{ volts.}$$

- b). Obtención de una determinada señal analógica, a partir de un dato digital introducido en el Microkit Z80.

**Ejemplo:** Se desea obtener una señal de 5V CD, en el canal S5.

**Nota:** Para obtener una señal de 5V CD, se puede utilizar cualquiera de las dos escalas de salida.

Suponiendo que se selecciona la escala de salida de 0 a 10 Volts, los pasos a seguir son:

- 1.- Seleccionar la escala de salida de 0 a 10V mediante el interruptor INT2.
- 2.- Conectar un instrumento de medición o un dispositivo al que se desee alimentar la señal analógica, en el canal de salida deseado.
- 3.- Determinar los parámetros para poder realizar la conversión:
  - La dirección a la cual responde el canal de salida S5 es 4CH.
  - Para obtener una señal de +5V CD, el dato digital a introducir en el Microkit Z80, se determina por la relación (7.3).

Por lo tanto:

$$\text{Voltaje real} = V_{me} + (V_{ld})(\text{Resolución})$$

donde:

$$\text{Voltaje real} = +5V_{CD}$$

$$V_{me} = 0 \text{ Volts.}$$

$$\text{Resolución} = 0.0390625$$

Despejando  $V_{ld}$ , se tiene:

$$V_{ld} = \frac{\text{Voltaje real} - V_{me}}{\text{Resolución}}$$

$$V_{ld} = \frac{5V - 0V}{0.0390625} = 128$$

Como  $V_{ld}$  se encuentra en base diez es necesario presentarlo en base 16.

Por lo tanto:

$$V_{ld} = 80H$$

Entonces el dato digital a ingresar al Microkit Z80 es 80H.

## 4.- Ejecutar los comandos:

Tecla a oprimir	Desplegado en el exhibidor luminoso
-----------------	--

COM1	C O 1
E/S	P E
4	P E _ 4
C	P E 4 C
OTRO	P E 4 C X X
8	P E 4 C _ 8
0	P E 4 C B 0
OTRO	P S 4 C B 0

Obteniendo así, finalmente una señal analógica de +5V CD en el canal de salida SS.

c). Ingresar una señal analógica por un canal de entrada y mandarla a un canal de salida.

Nota: El canal de salida de la señal, puede ser distinto al canal de entrada seleccionado.

**Ejemplo:** Se desea leer una señal analógica en el canal de entrada E1 y mandarla por el canal de salida S8, tomando como referencia de -5 a +5V para ambas escalas.

Los pasos a seguir son los siguientes:

- 1.- Seleccionar la escala de entrada de -5 a +5V mediante el interruptor INT1.
- 2.- Seleccionar la escala de salida de -5 a +5V mediante el interruptor INT2.
- 3.- Conectar la señal analógica en el canal de entrada E1
- 4.- Conectar un instrumento de medición o un dispositivo al que se desee alimentar la señal analógica de salida en el canal S8.

**Nota:** La dirección a la cual responde el canal de entrada E1 es 48H y la dirección a la cual responde el canal de salida S8 es 4FH.



5. Cargar el siguiente programa en la memoria del M  
icrokit Z80, a partir de la localidad 2000H.

ETIQUETA	NEMONICO	CODIGO
EXITO:	IN A,4B	D B 4 B
	OUT 4F,A	D 3 4 F
	JP EXITO	C 3 0 0 2 0

Para cargar el programa a partir de la localidad  
2000H, se ejecutan los siguientes comandos:

Tecla a oprimir	Desplegado luminoso
COM 1	C 0 1
MEM	d i r
2000	2 0 0 0
OTRO	2 0 0 0 X X
DB	2 0 0 0 D B
OTRO	2 0 0 1 X X
4B	2 0 0 1 4 B
OTRO	2 0 0 2 X X
D3	2 0 0 2 D 3

OTRO	2 0 0 3 X X
4F	2 0 0 3 4 F
OTRO	2 0 0 4 X X
C3	2 0 0 4 C 3
OTRO	2 0 0 5 X X
00	2 0 0 5 0 0
OTRO	2 0 0 6 X X
20	2 0 0 6 2 0
OTRO	2 0 0 7 X X

#### 6.- Ejecutar el programa

Los pasos a seguir para ejecutar el programa son:

Tecla a oprimir	Desplegado luminoso
60	S A L E
2000	2 0 0 0
OTRO	E

d). Generación de diferentes tipos de señales analógicas mediante software.

Ejemplo 1: Se desea obtener una señal rampa de 0 a 10V en el canal de salida S2.

Nota: La dirección a la cual responde el canal de salida S2, es 49H.

Los pasos a seguir son:

1. Seleccionar la escala de salida de 0 a 10 Volts, mediante el interruptor INT2.
2. Conectar una punta del Osciloscopio en el canal de salida S2, para poder observar la señal.
3. Cargar el siguiente programa en la memoria del Mikrokrok 280, a partir de la localidad 2000H.

ETIQUETA	NEMONICO	CODIGO
SACA:	LD A,00	3 E 0 0
REPITE:	OUT 49,A	D 3 4 9
	INC A	3 C
	CP A,FF	F E F F
	JP Z, SACA	C A 0 0 2 0
	JP REPITE	C 3 0 2 2 0

Para cargar el programa a partir de la localidad 2000H, se ejecutan los siguientes comandos:

Tecla a oprimir	Desplegado luminoso
COM 1	C 0 1
MEM	d i r
2000	2 0 0 0
OTRO	2 0 0 0 X X
3E	2 0 0 0 3 E
OTRO	2 0 0 1 X X
00	2 0 0 1 0 0
OTRO	2 0 0 2 X X
D3	2 0 0 2 D 3
OTRO	2 0 0 3 X X
49	2 0 0 3 4 9
OTRO	2 0 0 4 X X
3C	2 0 0 4 3 C
OTRO	2 0 0 5 X X
FE	2 0 0 5 F E

OTRO	2 0 0 6 X X
FF	2 0 0 6 F F
OTRO	2 0 0 7 X X
CA	2 0 0 7 C A
OTRO	2 0 0 8 X X
00	2 0 0 8 0 0
OTRO	2 0 0 9 X X
20	2 0 0 9 2 0
OTRO	2 0 0 A X X
C3	2 0 0 A C 3
OTRO	2 0 0 B X X
02	2 0 0 B 0 2
OTRO	2 0 0 C X X
20	2 0 0 C 2 0
OTRO	2 0 0 D X X

#### 4.- Ejecutar el programa

Los pasos a seguir para ejecutar el programa son:

Tecla a oprimir	Desplegado luminoso
GO	S A L E
2000	2 0 0 0
OTRO	E .

**Ejemplo 2:** Se desea obtener una señal triangular de -5 a +5 Volts, en el canal de salida S6.

**Nota:** La dirección a la cual responde el canal de salida S6, es 4DH.

Los pasos a seguir son:

1. Seleccionar la escala de salida de -5 a +5 Volts, mediante el interruptor INT2.
2. Conectar una punta del Osciloscopio en el canal de salida S6, para poder observar la señal.
3. Cargar el siguiente programa en la memoria del Mikrokrok 780, a partir de la localidad 2000H.

ETIQUETA	NEMONICO	CODIGO
	LD A,00	3 E 0 0
SUBE:	OUT 4D,A	D 3 4 D
	INC A	3 C
	CP A,FF	F E F F
	JP Z, BAJA	C A 0 D 2 0
	JP SUBE	C 3 0 2 2 0
BAJA:	OUT 4D,A	D 3 4 D
	DEC A	3 D
	CP A,00	F E 0 0
	JP Z, SUBE	C A 0 2 2 0
	JP BAJA	C 3 0 D 2 0

Para cargar el programa a partir de la localidad 2000H, se ejecutan los siguientes comandos:

Tecla a oprimir	Desplegado luminoso
CDM 1	C 0 1
MEM	d i r
2000	2 0 0 0

OTRO	2 0 0 0	X X
3E	2 0 0 0	3 E
OTRO	2 0 0 1	X X
00	2 0 0 1	0 0
OTRO	2 0 0 2	X X
D3	2 0 0 2	D 3
OTRO	2 0 0 3	X X
4D	2 0 0 3	4 D
OTRO	2 0 0 4	X X
3C	2 0 0 4	3 C
OTRO	2 0 0 5	X X
FE	2 0 0 5	F E
OTRO	2 0 0 6	X X
FF	2 0 0 6	F F
OTRO	2 0 0 7	X X
CA	2 0 0 7	C A
OTRO	2 0 0 8	X X
OD	2 0 0 8	O D
OTRO	2 0 0 9	X X



20	2 0 0 9 2 0
OTRO	2 0 0 A X X
C3	2 0 0 A C 3
OTRO	2 0 0 B X X
02	2 0 0 B 0 2
OTRO	2 0 0 C X X
20	2 0 0 C 2 0
OTRO	2 0 0 D X X
D3	2 0 0 D D 3
OTRO	2 0 0 E X X
4D	2 0 0 E 4 D
OTRO	2 0 0 F X X
3D	2 0 0 F 3 D
OTRO	2 0 1 0 X X
FE	2 0 1 0 F E
OTRO	2 0 1 1 X X
00	2 0 1 1 0 0
OTRO	2 0 1 2 X X
CA	2 0 1 2 C A

OTRO	2 0 1 3 X X
02	2 0 1 3 0 2
OTRO	2 0 1 4 X X
20	2 0 1 4 2 0
OTRO	2 0 1 5 X X
C3	2 0 1 5 C 3
OTRO	2 0 1 6 X X
0D	2 0 1 6 0 D
OTRO	2 0 1 7 X X
20	2 0 1 7 2 0
OTRO	2 0 1 8 X X

#### 4.- Ejecutar el programa

Los pasos a seguir para ejecutar el programa son:

Tecla a oprimir	Desplegado luminoso
GO	S A L E
2000	2 0 0 0
OTRO	E

### VIII. CONCLUSIONES

El motivo por el cual se diseñó y construyó ésta interfaz de puertos analógico-digitales de E/S, fue el aportarla a la Facultad, en especial al laboratorio de Microprocesadores, solucionando así, una de sus carencias en instrumentos de laboratorio, como lo es el no contar con una interfaz de puertos analógico-digitales de E/S para los Microkit Z80.

Cabe mencionar, que éste trabajo de tesis no únicamente tuvo como fin el cumplir un requisito, sino que también es parte fundamental de nuestra formación profesional, al poner en práctica nuestros conocimientos adquiridos, logrando lo anterior con la participación conjunta de profesores y alumnos.

Otro de los aspectos importantes en el diseño y construcción, fue la selección de los convertidores, en los cuales recae principalmente el funcionamiento de ésta interfaz. La selección del convertidor D/A se hizo en base a los convertidores existentes en el laboratorio de Microprocesadores, encontrando disponible el Convertidor D/A CI MC1408-8. Para la selección del convertidor A/D se tenían dos alternativas: la primera consistía en construir éste con elementos discretos y la segunda alternativa consistía en utilizar un circuito integrado Convertidor A/D, sin embargo, se contemplo que en anteriores trabajos de tesis, ya existe un Convertidor A/D, construido con elementos discretos, por lo cual se optó por la segunda alternativa, para así contar con Convertidores construi

dos con ambas alternativas, en el laboratorio de Microprocesadores de ésta Facultad. Encontrando en el mercado el Convertidor Analógico-Digital CI ADC0809. Finalmente se diseñó una etapa de alimentación propia de la interfaz, la cual proporciona 4 niveles de voltaje para alimentar los componentes de la interfaz y un nivel de voltaje para alimentar al Microkit Z80, evitando con esto la necesidad de fuentes externas y logrando una mayor portabilidad de la interfaz.

Es importante mencionar que la aplicación de ésta interfaz no sólo se restringe a un proceso de E/S de señales analógicas, sino que también puede usarse en su etapa de entrada como un instrumento de medición de voltaje, o bien en su etapa de salida como un generador de señales analógicas por medio de software, logrando con esto último despertar en el usuario el interés en el desarrollo del software que permita adaptar a la interfaz de acuerdo a sus requerimientos, como pueden ser; desde el poder generar distintos tipos de señales analógicas, hasta el poder controlar sistemas de señales de tipo analógico con el Microkit Z80.

## BIBLIOGRAFIA

- The TTL Data Book for design engineers  
Texas Instruments.
- The Linear Control Data Book for design engineers  
Texas Instruments.
- Semiconductor Data Library linear integrated circuits  
Motorola semiconductors.
- How To Program the Z-80  
Zacks, Rodnay  
Estados Unidos, Ed. Sybex, 1980
- Programación del Microprocesador Z-80  
Elizabeth A. Nichols  
Joseph C. Nichols  
Peter R. Rony  
Ed. Marcombo
- Curso Básico Sobre Microprocesadores  
Jose Ma. Angulo Usategui  
Ed. CEDEL

- **Sistemas Digitales Basados en Microprocesadores**

James W. Gavit

Russel M. Pimmel

Ed. Mc Graw Hill

- **Construya una Microcomputadora basado en el Z-80**

Steve Ciarcia

Ed. Byte Books/Mc Graw Hill

- **Sistemas Electrónicos digitales**

Enrique Mandado

Ed. Marcombo

- **Circuitos de Pulsos Digitales y de Conmutación**

Jacob Milman

Ed. Mc. Graw Hill

- **Diseño Lógico**

Morris Mano

Ed. Prentice Hall

- Diseño con Circuitos Integrados TTL  
Robert L. Morris  
Jhon R. Miller
  
- Tocci, Ronald J.  
Sistemas Digitales: Principios y Aplicaciones  
Tr. Jaime Gru U.  
Prol. Ronald J. Tocci  
Madrid España, Ed. Dossat, 1981
  
- Amplificadores Operacionales  
Tobey  
Ed. Diana
  
- A User's Hand Book of D/A and A/D Converters  
Hnatek, Eugene R.  
Estados Unidos, Ed. Jhon Wiley & Sons, 1976
  
- Electrónica Analógica  
Ing. Antonio Herrera Mejía  
F.E.S.-C. U.N.A.M.



## APENDICE A

A continuación se da una lista de los precios de los componentes de ésta interfaz.

## Etapa de entrada

Cantidad	Elemento	Precio/pza.	Total parcial
3	CI CD4051BCN	3,500	10,500
1	CI 74LS13BN	2,500	2,500
1	CI SN74LS273N	3,800	3,800
3	CI LM741	800	2,400
1	CI ADC0809CCN	16,000	16,000
10	Resist. 1/2 W	70	700
1	Poten. 3/4 W	2,300	2,300
6	Bases para CI	400	2,400

**Total**            **\$ 40,600.00**

## Etapa de salida

Cantidad	Elemento	Precio/pza.	Total parcial
2	CI CD4051BCN	3,500	7,000
1	CI 74LS138N	2,500	2,500
2	CI SN74LS273N	3,800	7,600
2	CI LM741	800	1,600
1	CI SN74LS32N	700	700
1	CI MC1408LB	4,680	4,680
8	Resist. 1/2 W	70	560
2	Poten. 3/4 W	2,300	4,600
6	Bases para CI	400	2,400
1	Capacitor 33pF	150	150
<b>Total</b>			<b>\$ 31,790.00</b>

## Elementos adicionales y accesorios.

Cantidad	Elemento	Precio/pza.	Total parcial
1	CI SN74LS244N	1,800	1,800
1	Regulador 7805	1,600	1,600
1	Regulador 7808	1,600	1,600
1	Regulador 7812	1,600	1,600
1	Regulador 7905	1,600	1,600
1	Regulador 7912	1,600	1,600
20	Jacks hembra	750	15,000
17	Leds	270	4,590
17	Portaleds	100	1,700
2	Int. 2 pol/2 tir	1,450	2,900
1	Conect. WIRE WRAP (16)	2,600	2,600
1	Conect. WIRE WRAP (24)	4,200	4,200
1	Push botton	3,200	3,200
1	Portafusible	1,000	1,000
1	Cable de alim.	1,500	1,500
3	Table. baquelital	6,000	18,000
1	Transf. a 30vcd	18,000	18,000

Total

\$ 98,690.00

De lo anterior el costo total de la interfaz es de:

-----  
Costo Total: \$ 171,080.00  
-----

Nota: El costo de el chasis de la interfaz y demás accesorios, no se encuentra incluido en el costo total.

## APENDICE B

En la actualidad existen varias formas principales de distinguir a los circuitos integrados, como son:

- a). En base a la tecnología de fabricación.
- b). En base al funcionamiento interno.
- c). En base al tipo de familia lógica.
- d). En base al grado de integración, etc.

Así por ejemplo, en base a la tecnología de fabricación y al tipo de familia lógica, se tienen: RTL, DTL, TTL, ECL, IIL, HTL, MOS y CMOS.

En donde en la familia TTL, para identificar un circuito, se hace en base a lo siguiente.

Por ejemplo, si se tiene la siguiente serie de números y letras:

B N	7 4	L S	0 0	N
└───┘	└──┘	└──┘	└──┘	└──┘
a	b	c	d	e

a= Fabricante

b= Tipo de familia lógica

Donde:

74 = Fines comerciales.

54 = Fines militares.

c= Tipo de subfamilia

Las subfamilias principales son:

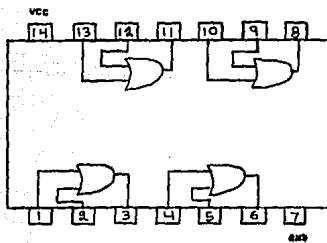
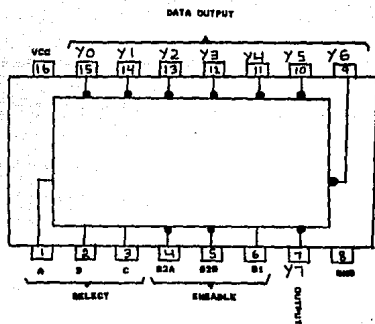
1. Estandar ..... SN7400N
2. Baja potencia (Low-Power) ..... SN74L00N
3. Alta rapidez (High-Speed) ..... SN74H00N
4. Schottky ..... SN74S00N
5. Baja potencia Schottky (Low-Power-S) SN74LS00N

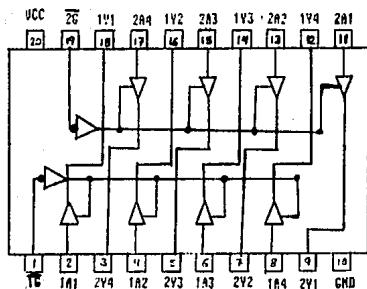
d= Tipo de circuito

e= Tipo de encapsulado

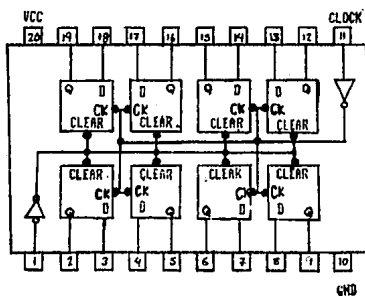
A continuación se presenta la distribución interna de los circuitos que se emplearon en el diseño y construcción de ésta interfaz.

Nota: La serie de números y letras que aparece abajo de cada circuito, corresponde a su nombre comercial.



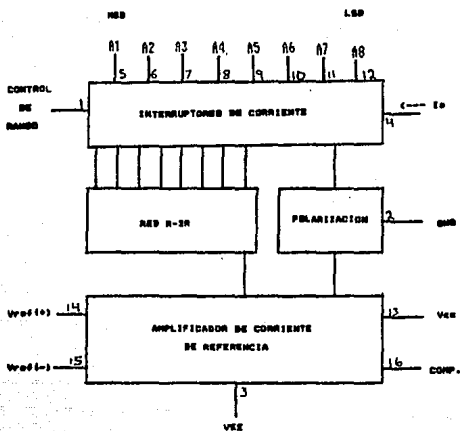


SN74LS244N

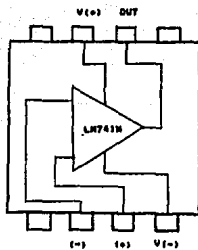


SN74LS273N

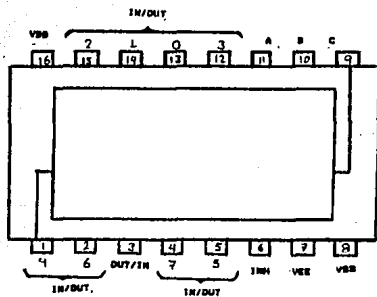




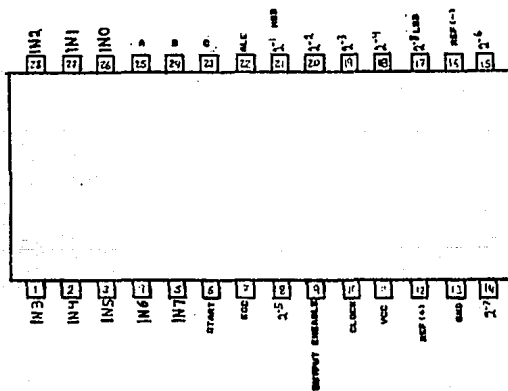
MC140BLB



LM741



CD4051BCN



ADC0809CCN