



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DISEÑO Y FABRICACION DE UN SISTEMA PROGRAMABLE DE CRIOPRESERVACION DE AMIBAS EN NITROGENO LIQUIDO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A N :

GRISEL RIVERA SANCHEZ
LAURA IMELDA GARCIA SUAREZ
MANUEL ORTINEZ BENAVIDES

DIRECTOR DE TESIS: M. EN I. LAURO SANTIAGO CRUZ



MEXICO, D. F.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

1994



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.

Agradecemos al Instituto de Fisiología Celular de la UNAM, el habernos permitido desarrollar el presente trabajo y brindado su apoyo económico.

Agradecemos a la Facultad de Ingeniería de la UNAM, el habernos brindado la oportunidad de instruirnos en ella.

Agradecemos al M.I. Lauro Santiago C. del Instituto de Ingeniería de la UNAM, sus valiosos consejos como asesor y como amigo para la realización de este trabajo.

Agradecemos al CEDAT-SS, habernos permitido utilizar sus instalaciones y equipo para el desarrollo de este trabajo.

Agradecemos a los ingenieros: Aurey Galván L. e Ignacio Martínez L., personal del laboratorio de Mantenimiento del Instituto de Fisiología Celular y a la bióloga Nallely Cabrera G., su colaboración en el presente trabajo.

A mis padres:

Aurelio y Emma

por brindarme siempre su cariño y comprensión

A mis hermanos:

Marión,

Dante,

Lorena y

Marco A.

que por su dedicación y esmero, me enseñan el camino a seguir en los estudios y en la vida

A mi prima:

Margarita A.

por su apoyo y amistad incondicional

A mis compañeros:

Laura y Manuel

por depositar su confianza en mi, como compañera y amiga

A mis amigos:

por darme gratos momentos de alegría y ánimo ante lo adverso

A mis maestros:

por su ayuda invaluable

Grisel R.S.

Agradezco de todo corazón
a mi madre todo el apoyo que me
dió, a mi esposo y a mis
hermanos, a Gris y a Manuel por
la gran ayuda y por su sincera
amistad.

Laura I. G. S.

A mi madre por todo lo
que me ha ayudado.

A mis hermanos Librado,
Dangith, Federico, Patricia,
Raúl y Lillian por su ayuda y
cariño.

A mi esposa Coral por su apoyo.

A mis amigos y compañeros:
Ignacio, Ray, Aurey, Miguel,
Marcela, Polo, Checo, Pablo,
Lilia, Nallely, Lourdes, Jorge,
Martha, Martín, Graciela y a
todos aquéllos que por falta de
espacio no los menciono pero
siempre los recuerdo.

A los señores Leopoldo,
Fulgencio, Guillermo y Ricardo
por su gran ayuda.

A Laura y a Gris por
todos los momentos que pasamos
y que dió como resultado este
trabajo.

Manuel O.B.

INDICE TEMATICO

INDICE TEMATICO

INTRODUCCION

CAPITULO UNO

CRIOGENIA Y CRIOPRESERVACION

1.1 Criogenia.....	1
1.2 Producción de bajas temperaturas.....	4
1.3 Aplicaciones a bajas temperaturas.....	6
1.4 Criopreservación.....	8
1.5 Métodos de congelación.....	10
1.6 Sistema Crio Biológico.....	11
1.7 Características y dimensiones.....	13
1.8 Daños que ocurren al almacenar en nitrógeno líquido a las muestras.....	15

CAPITULO DOS

SENSORES DE TEMPERATURAS

2.1 Los sensores de temperatura más comunes.....	16
2.2 Detectores de temperatura resistiva (RTD).....	17
2.3 Termistor.....	19
2.4 Termopares.....	21
2.5 Compensación de temperatura del termopar.....	28

2.6	Circuitos integrados (SENSOR).....	32
2.7	Sensores infrarrojos y de cristal.....	33
2.8	Ventajas y desventajas de los diferentes sensores...	38

CAPITULO TRES

CONVERSION ANALOGICA DIGITAL

3.1	Convertidores analógico digital.....	41
3.2	Convertidor A/D de aproximaciones sucesivas.....	42
3.3	Circuitos de muestreo y retención (SAMPLE & HOLD)...	45
3.4	Principales errores que se encuentran en los convertidores analógico/digital.....	50
3.5	Características principales de un convertidor A/D...	51
3.6	Características de los convertidores A/D de integración.....	54
3.7	Características de los convertidores de A/D de balance continuo.....	55
3.8	Características de los convertidores A/D de aproximaciones sucesivas.....	56
3.9	Consideraciones para la selección de convertidor analógico digital.....	57

CAPITULO CUATRO

SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO

4.1	Motores.....	58
4.2	Clasificación de motores.....	62
4.3	Motores de pasos.....	63
4.4	Manejo de cargas inerciales (tiempo permitido)....	71
4.5	motores de pasos de reluctancia variable.....	73
4.6	Secuencia de conmutación para motores de 4 pasos....	78
4.7	Motor de pasos bifilar.....	80
4.8	Información requerida para seleccionar un motor de pasos.....	83
4.9	Aplicaciones.....	88
4.10	Diseño de la etapa de desplazamiento.....	89

CAPITULO CINCO

SISTEMA DE ADQUISICION

5.1	Etapa de adquisición.....	95
5.2	Parámetros de diseño.....	96
5.3	Calibración del amplificador de instrumentación....	106
5.4	Conversión analógica/digital.....	106
5.5	Calibración del convertidor A/D.....	107
5.6	descripción funcional.....	109

CAPITULO SEIS

SISTEMA DE CONTROL DEL CRIOCONSERVADOR

6.1	Descripción del sistema de control.....	114
6.2	Descripción de las conexiones de las memorias e interfaces.....	117
6.3	Circuitos de temporización y sincronización.....	127

CAPITULO SIETE

SISTEMA OPERATIVO DEL CRIOCONSERVADOR

7.1	Condiciones de programación.....	132
7.2	Manejo y operación del sistema.....	133
7.3	Descripción del programa principal.....	138
7.4	Rutina de interrupción.....	145
7.5	Rutina de control.....	154

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Montaje del sistema.....	157
Ventajas del sistema desarrollado.....	159
Desventajas del sistema desarrollado.....	161
Características eléctricas del sistema.....	161
Análisis de costos del sistema.....	165
Conclusiones.....	168

APENDICE A

LISTADO DEL PROGRAMA DEL SISTEMA OPERATIVO DEL
CRIOCONSERVADOR

APENDICE B

ADC1205

PROGRAMMABLE KEYBOARD/DISPLAY INTERFACE 8279

PROGRAMMABLE PERIPHERAL INTERFACE 8255A/8255A-5

BIBLIOGRAFIA

INTRODUCCION

INTRODUCCION

Una de las razones que nos inquietó para realizar el siguiente trabajo fue la necesidad que existía en el Instituto de Fisiología Celular, donde se carecía de un equipo capaz de lograr el congelamiento controlado de las amibas. El diseño y fabricación del sistema programable de criopreservación de amibas en nitrógeno líquido ayudará al desarrollo experimental, y poder así realizar estudios más satisfactorios sobre las amibas, esperando posteriormente que dicho sistema pueda ser utilizado para la criopreservación de diferentes muestras.

A continuación se hará mención de algunos antecedentes a cerca de las amibas.

Debido a que diversas amibas pueden parasitar al hombre, sólo la *Entamoeba Histolytica*, la *Naegleria Gruberi* y la *Acantamoeba* son capaces de enfermarlo al invadir sus tejidos.

La *Entamoeba Histolytica* es un protozoario con tres estructuras anatómicas principales: membrana citoplástica con dos capas, citoplasma y núcleo. Posee una gran variedad de enzimas que intervienen en el metabolismo: hidrocarbonados, proteínas y ácidos nucleicos.

La infección por *E. Histolytica* tiene distribución universal y ataca en promedio al 20% de la población mundial. En México el porcentaje es variable, algunas regiones registran índices infección que van del 5% hasta el 75% de la población, predominando en los medios de escasos recursos.

La infección por *E. Histolytica* se adquiere por la ingestión de quistes. En la mayoría de los casos no produce enfermedad bajo la forma minuta o prequistica. En determinados casos y por causas desconocidas se transforma en profozofito de mayor tamaño, es decir adquiere la forma invasora para producir enfermedad.

La invasión tisular amibiana desencadena inmunología en el huésped.

A partir de la pared intestinal los trofozoitos llegan al hígado por vía porta o bien, por contigüidad a los órganos vecinos: pleura, pulmón pericardio, peritoneo, estómago, riñón, etcétera, abrirse a piel, o bien, por hemática diseminarse a distancia (cerebro, pulmón, brazo, etc.).

En el Instituto de Fisiología Celular se realizan estudios sobre la *Entamoeba histolytica* y la problemática actual. De ahí la importancia de la realización de este sistema que facilitará el proceso de congelación, que traerá como consecuencia una mayor viabilidad de amibas para su estudio posterior.

El objetivo principal es el poder controlar y programar un sistema de enfriamiento a muy bajas temperaturas, que lleve acabo el congelamiento de amibas para su conservación en un período prolongado de tiempo.

Este método recibe el nombre de criopreservación y consiste en detener prácticamente toda actividad metabólica incluyendo la división celular usando la temperatura del nitrógeno líquido. La criopreservación en células animales ha tenido grandes avances, son ejemplos significativos el almacenamiento de espermas en nitrógeno líquido y su subsecuente uso en la inseminación artificial, de tal modo que los bancos de esperma han desempeñado un papel importante en programas de mejoramiento de especies. En el campo de la investigación clínica tiene varias aplicaciones como son los crimicrotomos, crimicroscopios, crioagujas, que han sido empleados en la cirugía y transplantes de órganos.

Sin embargo al exponer las muestras (en este caso amibas) a temperaturas bajas éstas sufren daños físicos y químicos.

Por lo tanto el método de congelamiento es de suma importancia. Debido a que cada especie y explante responde en forma diferente, por lo que no se puede establecer un procedimiento general.

En nuestro caso se ha observado que los microorganismos al ser sometidos a un congelamiento lento se obtiene un tasa de viabilidad mayor, siempre y cuando se usen los crioprotectores y los agentes crioprotectores adecuados para dichos microorganismos.

Para cumplir lo anterior, se diseñó un sistema que pueda ser programado para dar diferentes tasas de enfriamiento dependiendo de las necesidades del usuario.

Los recipientes donde se llevan a cabo los diferentes métodos de congelación se conocen como *Dewars* o termos criogénicos, los hay de vidrio y de acero inoxidable. Estos recipientes utilizan el alto vacío como aislante y además están forrados con multicapas, pueden almacenar nitrógeno líquido por un período de tiempo largo. Dentro del termo existe un gradiente de temperatura, que es generado por los vapores del nitrógeno líquido; para conocer este gradiente y tener un mayor control sobre el sistema, se utiliza un sensor de temperatura.

El presente trabajo se ha dividido en ocho capítulos. En el Capítulo Uno se profundiza sobre lo que es la criogenia y la criopreservación.

En el Capítulo Dos se menciona los principales sensores de temperatura existentes, lo cual nos permitirá elegir el sensor que se adapte a nuestras necesidades.

También se utiliza un motor de pasos que dependiendo del diferencial de temperatura registrado por el sensor, que deberá estar conectado con un amplificador de instrumentación, se desplaza a un determinado número de grados. La señal que se obtiene de la salida del amplificador de instrumentación es de tipo analógico, por lo que se usa un convertidor A/D, lo que permite acoplar dicha señal, ahora digital, a una tarjeta de control.

En el Capítulo Tres se mencionan diferentes tipos de Convertidores Analógicos Digitales, con sus principales características, señalando sus ventajas, desventajas y sus aplicaciones.

En el capítulo Cuatro se hace una descripción general de lo que son los motores de pasos, sus aplicaciones y se muestra el diseño realizado para la etapa de desplazamiento del Crioconservador.

El diseño de la etapa de adquisición se explica en el Capítulo Cinco.

La tarjeta de control está constituida básicamente por un microprocesador que funge como el cerebro de todo el sistema, interactuando con las interfaces de entrada y salida. Por medio de las interfaces el microprocesador puede aceptar: datos, ya sea del teclado o del sensor de temperatura, y mandar órdenes

para el desplazamiento del eje del motor o la visualización de la información que se esté accedando al estar programando al sistema, al igual que la temperatura que se esté registrando en el proceso, todo esto se describe en el Capítulo Seis.

La programación del sistema operativo del Crioconservador, se explica con detalle en el Capítulo Siete, describiendo cada una de sus rutinas principales de sistema operativo.

Los resultados y conclusiones sobre el diseño del Crioconservador se enuncian en el último capítulo de este trabajo.

Existen dos apéndices, en el APENDICE A se encuentra el listado completo del sistema operativo de Crioconservador y en el APENDICE B las especificaciones de algunos circuitos integrados.

CAPITULO I

CRIOGENIA Y CRIOPRESERVACION

CRIOGENIA Y CRIOPRESERVACION

1.1 Criogenia

La criogenia es la ciencia que se encarga del estudio de los fenómenos y propiedades de la materia a muy bajas temperaturas (aproximadamente 4°K). En dicha región se dan fenómenos tales como la superconductividad, la superfluidez y la posibilidad de observar a los sólidos en un estado de reposo.

En este trabajo el líquido criogenio que se utiliza es el nitrógeno líquido (-210°C), que al nivel de la Cd. de México presenta una temperatura de -196°C.

El nitrógeno es un elemento que se encuentra en compuestos orgánicos e inorgánicos y como componente mayoritario del aire que forma nuestra atmósfera. En condiciones normales es un gas incoloro e inerte y por lo tanto insaboro, inodoro y no explosivo ni combustible. Es un material muy usado como líquido criogénico

con un punto de ebullición de 77°K a presión atmosférica. En la actualidad es relativamente sencillo obtener nitrógeno en forma líquida. La ciencia y la tecnología moderna usan grandes cantidades de nitrógeno en una variedad muy grande de aplicaciones que van desde el congelamiento de muestras vivas hasta enfriamiento de caucho para pulverizarlo.

Para poder llevar a cabo el enfriamiento se debe aplicar el principio denominado transferencia de calor. De acuerdo a la experiencia, el calor fluye de un lugar caliente hacia un lugar frío (ley cero de la termodinámica).

Existen tres formas de que este flujo de calor se lleve a cabo:

a) CONDUCCION.- Es necesario que estén en contacto térmico dos cuerpos y que se encuentren a temperaturas diferentes, es decir, $T_1 > T_2$. La cantidad de calor que fluye por un sólido por unidad de tiempo (Q) es proporcional a la diferencia de temperaturas (dT) y a la sección o área transversal del sólido (A) e inversamente proporcional a la longitud (dx); la constante de proporcionalidad $K(T)$ es la conductividad térmica que también depende de la temperatura. La ecuación que representa la cantidad de calor que fluye por un sólido es:

$$\dot{Q} = K(T) A \frac{d T}{d x} \dots\dots\dots (1.1)$$

b) **CONVECCION.**- En este proceso el calor es transferido por medio de un cuerpo en movimiento de tal manera que el movimiento de las moléculas realizan el intercambio de calor. La cantidad de calor transferido por convección por unidad de tiempo es proporcional al área de transferencia A y a la diferencia Δt de temperaturas multiplicado por una constante de proporcionalidad H. La expresión general es:

$$\dot{Q} = H A \Delta T \dots\dots\dots (1.2)$$

c) **RADIACION.**- Los cuerpos, debido a la excitación de sus átomos y electrones, generan ondas electromagnéticas, las cuáles escapan del cuerpo, se dice que el cuerpo radía energía al exterior, que se transmite como todas las ondas electromagnéticas sin necesidad de un medio. La cantidad de energía radiada por unidad de tiempo es en este caso proporcional a la cuarta potencia de la temperatura del cuerpo radiante, así como del material de que está compuesto, el cual es caracterizado físicamente por la emisividad. El segundo cuerpo recibe la radiación y la absorbe en forma de calor (T_2), la cantidad de calor transferida por unidad de tiempo y por unidad de área, está dada por la ecuación:

$$\frac{Q}{A} = e \cdot \sigma (T_1^4 - T_2^4) \dots \dots \dots (1.3)$$

e = la emisividad.

σ = la constante de Stefan-Boltzman.

1.2 Producción de bajas temperaturas

Para producir temperaturas bajas se utilizan generalmente dos métodos:

- Vaporización de un gas licuado.
- Refrigeración continua por medio de un sistema.

Ambos métodos se usan en un laboratorio en donde las cargas térmicas son pequeñas; el segundo método se usa mucho en la industria, pues las cargas térmicas son generalmente grandes.

En cuanto al primer método hay una variedad de fluidos que se usan a diferentes dominios de temperatura. Para cada fluido es posible manejar una variación continua de temperatura, que va desde el punto triple hasta el punto crítico, y se logra variando de manera controlada la presión en el gas que se encuentra por encima de la superficie del líquido. En la tabla 1.1 se muestran las características de los diferentes líquidos criogénicos:

FLUIDOS	MASA MOLECULAR gm	PUNTO TRIPLE DATOS EN EQUILIBRIO A 1 ATM.					PUNTO CRITICO		
		TEMP. °K	PRES. Torr	CALOR LATENTE DE FUS. J/g	MASA ESP. g/l	TEMP. EBULL. °K	CALOR LATENTE VAPOR J/g	TEMP °K	PRES. atm
Helio ³	3.017	Sólido a 0°K a 29 ATM			59	3.2	8.2	3.35	1.15
Helio ⁴	4.003	Sólido a 0°K a			125	4.21	20.5	5.20	2.26
Hidrógeno	2.016	13.9	54.0	58	70.8	20.4	445	33.2	13
Neón	20.18	24.5	323	16.6	1204	27.2	87	44.4	27.8
Oxígeno	32.00	54.4	1.2	13.8	1149	90.2	217	154	49.7
Nitrógeno	28.02	63.1	96.4	25.5	808	77.3	199	126	33.5
Freón 12	120.8	118			1490	242.7	167	385	40
Butano	58.12	128			600	263	382	407	37
Amoniaco	17.03	195	45	330	683	239.8	1360	405	111.5
Gas Carbónico	44.01	215.7	3884	180	1560	194.7	570	304	73.0

Tabla 1.1 Características de líquidos criogénicos.

1.3 Aplicaciones a bajas temperaturas

El desarrollo de las técnicas criogénicas ha permitido la comercialización de refrigeradores y licuefactores apropiados para casi cualquier propósito, ya sea industrial o a nivel de laboratorio de desarrollo o investigación y aún más para uso individual, como los refrigeradores para conservar productos del mar ó agrícolas. La industria actualmente requiere grandes cantidades de nitrógeno líquido que utiliza en procesos tan diversos como tratado térmico de aceros, maquinado de plásticos, molienda de productos como hule natural y sintético, extracción de piezas por contracción térmica, etc. La utilización de técnicas de vacío en la industria es cada vez más generalizada y consecuentemente el uso de trampas enfriadas con nitrógeno líquido se ha convertido en una necesidad común y corriente; actualmente se encuentran en desarrollo las técnicas de criobombeo en donde se espera alcanzar presiones similares a los del espacio intergaláctico, 10^{-13} Torr. El nitrógeno líquido es actualmente utilizado en la industria alimenticia para la preparación de alimentos congelados y liofilización.

En la ciencias biológicas la criogenia ha encontrado dos tipos de aplicaciones. Una es la conservación de la vida y la otra la criocirugía. En cuanto a la suspensión de la vida animada existen proyectos que van desde la ciencia ficción hasta la simple conservación de virus por periodos de tiempo muy prolongados.

Actualmente se pueden conservar, a temperaturas tan bajas como la de la ebullición del nitrógeno líquido (-196°C), varios tipos de organismos vivos tales como virus, plasma sanguíneo, células vegetales y aún espermatozoides de diferentes tipos de ganado. Este último ha permitido la implantación de las técnicas de inseminación artificial con todas las ventajas en cuanto a mejora de razas. El problema principal de la deshidratación de las células se ha dejado atrás con la adición de sustancias como el glicerol. Lo que sucede al congelar un espécimen es que parte del agua de la célula se convierte en hielo de manera que otras sustancias reaccionarán anormalmente por encontrarse más concentradas dañando a la propia célula. Bajando la temperatura de fusión del agua con agentes como el glicerol se permite que la temperatura baje lo suficiente para retardar las reacciones y así la posibilidad de sobrevivir al congelamiento es superior. De esta manera se logran mantener vivos organismos tan complicados como el espermatozoide de toro hasta varios años. En cuanto a la criocirugía se refiere, la destrucción selectiva de tejidos se puede lograr usando una cánula cuya punta es enfriada con algún líquido criogénico. Así se han desarrollado técnicas que van desde la sofisticada cura del mal de Parkinson "quemando" con nitrógeno líquido una pequeña parte del hipotálamo en el cerebro del paciente, hasta curaciones cotidianas de tumores, verrugas y otros males menores, utilizando puntas enfriadas con óxido nitroso.

1.4 Criopreservación

La criopreservación consiste en detener prácticamente toda actividad metabólica, incluyendo la división celular. Para ello se usa la temperatura del Nitrógeno Líquido (NL). La aplicación de la criopreservación en células animales ha tenido grandes avances, son ejemplos significativos el almacenamiento de esperma en NL y su subsecuente uso en la inseminación artificial, de tal modo que los bancos de espermias han desempeñado un papel muy importante en programas de mejoramiento de especies. En el campo de la investigación clínica tiene varias aplicaciones como son los cromicrotomos, criomicroscopios, crioaguja, que han sido empleados en la cirugía y transplantes de órganos.

Al exponer la muestra a temperaturas bajas, es necesario tomar en cuenta los daños que provoca la congelación por sí misma, éstos pueden englobarse en dos tipos:

- Físicos, como es la formación de hielo debido a que el agua al pasar de líquido a sólido, cambia de configuración espacial, lo que provoca la ruptura de estructuras celulares.

- Físico-Químicos, en los que se contempla la desnaturalización de diversos compuestos celulares, la suspensión de reacciones catalizadas por enzimas, cambios en el pH y la deshidratación para precipitar las proteínas

en solución.

Los primeros estudios sobre el daño por congelación, demostraron que el daño físico es producido por la formación de los cristales de hielo. Las células son sujetas a una serie de eventos físico-químicos, asociados con la pérdida de agua y su conversión a hielo; cuando la temperatura desciende, la cantidad celular decrece y los solutos extra e intracelulares se concentran provocando cambios en el pH, además las células se colapsan por la diferencia de presión osmótica.

Para tratar de minimizar estos daños se requiere de un compuesto capaz de detener la destrucción de la célula, que facilite el arreglo de la estructura molecular de los cristales de hielo y disminuya la tasa de formación de cristales (congelación). De este modo existe agua no congelada que actúa como agua estructural y solvente de las sustancias que se encuentran en el interior de la célula, que al descender la temperatura se vuelven más concentradas.

Se ha considerado que un agente crioprotector debe caracterizarse por evitar la formación de cristales de hielo, reducir la deshidratación celular por choque osmótico, tener un punto de ebullición alto y no ser tóxico. Además el tamaño y cantidad de cristales que se forman al congelar depende principalmente de la velocidad con que se extrae el calor.

1.5 Métodos de congelación

Los métodos de congelación se dividen en:

1) CONGELACION LENTA: Es el método más común y consiste en bajar la temperatura gradualmente, esto provoca un flujo de agua intracelular hacia el exterior, donde se congela y forma un pequeño número de cristales de hielo. De manera general las tasas de enfriamiento que se manejan están entre 0.5 y 0.2°C/min, sin embargo se han reportado tasas del orden de 0.1 a 10°C/min.

2) CONGELACION RAPIDA: Consiste en la inmersión directa de las muestras en NL, este método provoca la formación de un gran número de cristales de hielo, distribuidos en los tejidos con uniformidad.

3) CONGELACION POR PASOS: Este método consiste en congelar la muestra en etapas y temperaturas predeterminadas. Cuando la muestra alcanza entre los -35°C ó -40°C y el agua congelable de la célula ha salido para convertirse en hielo externo, se pasa directamente al NL. Este método para ciertos explantes como muestras vivas no es muy conveniente, pero para semillas se tienen resultados favorables.

El método con el que se ha obtenido mayor viabilidad, cuando se ha llevado en forma controlable, ha sido el de enfriamiento lento.

1.6 Sistema Crio-Biológico

Los recipientes donde se lleva a cabo los diferentes métodos de congelación se conocen como *Dewars* o termos crio-biológicos; los hay de vidrio y de acero inoxidable. Estos recipientes utilizan el alto vacío como aislante y además están forrados con multicapas, pueden almacenar nitrógeno líquido por horas, según su tamaño.

Estos contenedores son muy utilizados para la inseminación artificial, con tiempo de retención de hasta un año y con una capacidad de hasta 47.4 litros; con lo cual se tiene un tiempo prolongado de almacenamiento de semen, embriones y muestras biológicas.

En la figura 1.1 se muestran las partes que componen a dicho sistema:

- 1) Una tapa que se ajusta con bisagras para asegurar y proteger el área del cuello.
- 2) Un anillo con un índice de números señalados por ranuras, lo cual permite una rápida localización de las muestras.

- 3) El cilindro central del cuello asegura los tubos y reduce la pérdida del nitrógeno.
- 4) El cuello del tubo está unido al recipiente interior y lo une con el exterior.
- 5) Una cobertura de aluminio altamente resistente para poder aligerar el peso y además de tener una mayor duración.
- 6) Aislamiento térmico superior.
- 7) El accesorio del fondo sostiene los tubos y facilita la manipulación.

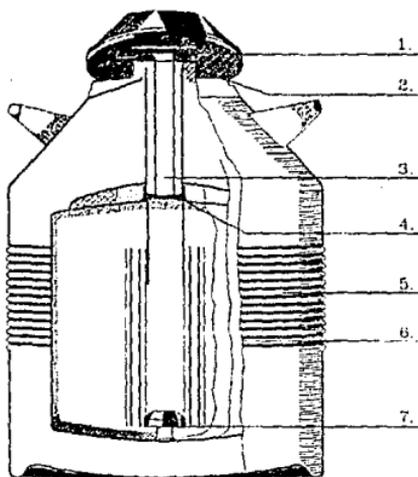


Figura 1.1 El contenedor con sus partes.

1.7 Características y dimensiones

Las características y dimensiones del sistema Crio-Biológico Dewar Modelo 34XT, que se utilizará para el desarrollo del trabajo, se presenta en la tabla 1.2:

Período de almacenamiento estático, días		340
Período de operación, días		212
Tasa de evaporación litros/días		0.10
Capacidad de nitrógeno líquido en litros		34
Peso vacío	lb kg	33.4 15.1
Peso lleno	lb kg	94.0 42.6
Diámetro del cuello	pul mm	2.0 51
Altura total	pul mm	25.5 648
Diámetro total	pul mm	18.8 476
Número de tubos		6
Dimensiones del tubo	pul mm	1.5 x 11 38 x 279
Capacidad de la ampollita		180
Pitillos (en soportes)		480
Capacidad (volumen)		1200

Tabla 1.2 Características y dimensiones del sistema crio-biológico Dewar 34XT.

En la figura 1.2 se muestran las dimensiones del contenedor Dewar 34XT.

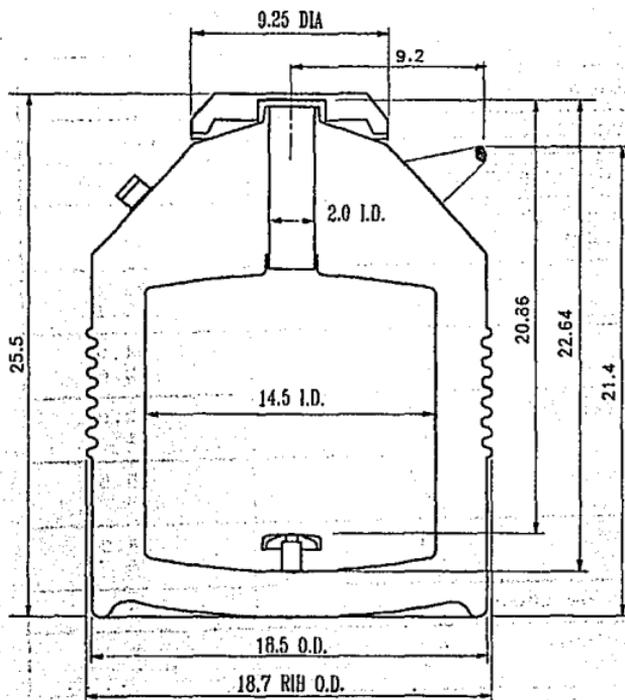


Figura 1.2 Dimensiones del Dewar.

1.8 Daños que ocurren al almacenar en nitrógeno líquido a las muestras

Los daños en las muestras que son almacenadas en NL pueden ser ocasionados por diversos factores en cualquier etapa del proceso de criopreservación, son:

- 1.- La edad y estado fisiológico de las muestras.
- 2.- El tamaño de las muestras.
- 3.- Los componentes del medio de cultivo, así como el proceso de descongelamiento de la muestra.
- 4.- La duración y las condiciones de incubación antes y después de congelar.
- 5.- El tipo de crioprotector: su toxicidad o el empleo de diferentes crioprotectores, su concentración empleada, el tiempo de exposición y la temperatura de aplicación.
- 6.- Tiempo de congelación, lenta, rápida o por pasos, la velocidad de enfriamiento, el número de pasos y temperaturas utilizadas en cada paso.
- 7.- El descongelamiento, si es rápido o lento.

CAPITULO 2

SENSORES DE TEMPERATURA

SENSORES DE TEMPERATURA

2.1 Los sensores de temperaturas más comunes

La temperatura es uno de los parámetros físicos más importantes en los procesos industriales. El uso de sensores de temperatura para efectos de supervisión y control es muy común, y existen varios tipos, los más comunes son:

- A) Detector de temperatura resistiva (RTD)
- B) Termistores
- C) Termopares
- D) Sensores de circuito integrado
- E) Sensores de infrarrojos y de cristal

Los sensores mencionados anteriormente tienen diferentes principios de funcionamiento y las características de cada uno los hacen utilizables en diversas aplicaciones.

A continuación se explica el principio de funcionamiento y las características más importantes de cada uno los sensores de temperatura enunciados anteriormente.

2.2 Detectores de temperatura resistiva (RTD)

El detector de temperatura resistiva consiste en algún tipo de elemento resistor expuesto a la temperatura que se va a medir. La temperatura que se indica mediante la medición, es el cambio de resistencia del elemento. El coeficiente lineal de temperatura de resistencia se define como:

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1(T_2 - T_1)} \dots\dots\dots (2.1)$$

α = coeficiente lineal de temperatura

Donde R_2 y R_1 son las resistencias del material a la temperatura T_2 y T_1 , respectivamente. Para márgenes de temperaturas más amplios, por lo regular, la resistencia del material se expresa mediante una relación cuadrática:

$$R = R_0(1 + aT + bT^2) \dots\dots\dots (2.2)$$

Donde: R = resistencia a la temperatura T
 R_0 = resistencia a la temperatura de referencia T_0
 a, b = constantes determinadas experimentalmente

Para construir los termómetros de resistencia se debe tener cuidado de que el alambre de resistencia esté libre de cuerpos mecánicos y montado de manera que la humedad no pueda entrar en contacto con él e influya en la medición.

El platino es el metal que mejor desempeño tiene para este tipo de dispositivos, dada su alta estabilidad eléctrica, su comportamiento lineal y su facilidad de calibración durante su fabricación.

Los termómetros de resistencia de platino se usan para medición de temperatura en los rangos de -220°C a 600°C . El coeficiente de cambio alcanza los $0.4\Omega/^{\circ}\text{C}$, y su costo es elevado en comparación con otros sensores.

Las mediciones de resistencia pueden realizarse con algún tipo de circuito puente, donde el RTD será una de las impedancias del puente, este circuito es fácil de calibrar al tomar una referencia de temperatura, generando el puente un voltaje determinado para cada variación resistiva experimentada por el RTD.

El valor más común de los RTD a 0°C es de 100Ω . Si el sensor se conecta a una distancia larga del instrumento de medición, la resistencia de los cables de interconexión introducen errores en la medición, para contrarrestar este efecto producido por la resistencia de los cables, se utiliza el puente

de impedancia, conectando al RTD en una rama opuesta del puente como se muestra en la figura 2.1.

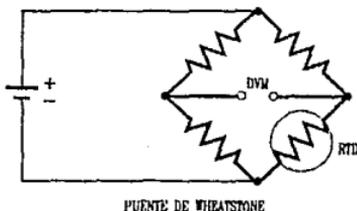


Figura 2.1. Puente de impedancia para un circuito de acoplamiento.

2.3 Termistor

El termistor es un dispositivo semiconductor que tiene un coeficiente negativo de temperatura para la resistencia, en contraste con el coeficiente positivo de la mayor parte de los metales. Además, la resistencia sigue una variación exponencial con la temperatura, cuya ecuación es:

$$R = R_0 \frac{\beta(1/T - 1/T_0)}{\dots\dots\dots} \quad (2.3)$$

Donde R_0 es la resistencia de la temperatura de referencia T_0 y β una constante experimentada. El valor numérico de β varía

entre 3500 y 4600°K, dependiendo del material del termistor y la temperatura.

Una característica muy importante del termistor es que puede usarse para compensar la temperatura de los circuitos eléctricos. Esto es posible al tomar en cuenta el coeficiente negativo de temperatura de modo que puede usarse para contrarrestar el aumento de resistencia de un circuito, conforme aumenta la temperatura.

Los termistores se fabrican a partir de óxidos de níquel, magnesio, cobre y otros metales. De todos los tipos de sensores de temperatura, el termistor es el que ofrece el mayor coeficiente de cambio de resistencia con respecto a la temperatura, aproximadamente de $-500 \Omega/^{\circ}\text{C}$, en una región cercana a los 0°C .

Los termistores no tienen una respuesta lineal, puesto que su coeficiente de cambio negativo sufre variaciones muy rápidas en la región de bajas temperaturas, aproximadamente del orden de $-100\text{k}\Omega/^{\circ}\text{C}$. Hay métodos matemáticos para la linealización de las curvas obtenidas a través de estos sensores.

Los termistores se conectan por lo general en una de las ramas de un circuito puente. La compensación de la respuesta no lineal, se puede llevar a cabo mediante un programa, si se cuenta con una computadora, o por medio de tablas obtenidas

experimentalmente o dada por el fabricante.

Existen en el mercado los termistores lineales, formados en realidad por un circuito con dos termistores, calibrados de tal forma que uno compensa la respuesta no lineal del otro.

2.4 Termopares

Los termopares son prácticamente los elementos más usados para hacer mediciones de temperatura en la industria, debido a que son capaces, en sus diferentes aleaciones, de medir desde temperaturas muy bajas, aproximadamente -200°C , hasta temperaturas muy altas, más de $+1800^{\circ}\text{C}$, por lo que cubren todos los rangos de trabajo existentes.

La teoría de los termopares está basada en los siguientes principios y leyes:

1.- Principio de Seebeck.- *T.J. Seebeck* descubrió que si se forma un lazo con metales diferentes, como el mostrado en la figura 2.2, y cada uno de los extremos o juntas se encuentra a una temperatura diferente, se genera una fuerza electromotriz y su magnitud es proporcional a la diferencia entre las temperaturas de las dos juntas.

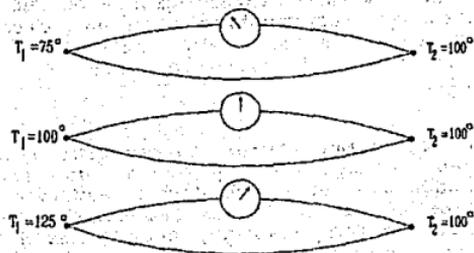


Figura 2.2 Efecto Seebeck.

2.- Principio de Peltier.- Cuando una corriente fluye a través de un lazo termoeléctrico, una de las juntas absorberá calor mientras que la otra lo proporcionará.

3.- Principio Thompson.- *Sir William Thompson*, más tarde *Lord Kelvin*, descubrió que cuando un material metálico es conectado a una fuente externa de fem, y existe un gradiente de temperatura a través del conductor, el flujo de corriente causará un incremento de temperatura en una de las juntas y un decremento en la otra.

Los tres efectos anteriores dieron origen a las leyes en que está basada la tecnología de mediciones termoeléctricas:

1.- Ley de los circuitos homogéneos.- No se puede mantener una corriente eléctrica en un circuito construido por un solo metal homogéneo por la sola aplicación de calor.

- 2.- Ley de los metales intermedios.- La suma algebraica de las fuerzas electromotrices en un circuito compuesto por cualquier número de materiales disímiles es cero, si todo el circuito está a una temperatura uniforme.
- 3.- Ley de las temperaturas intermedias.- Si dos metales disímiles homogéneos producen una fem térmica E_1 , cuando cada una de las juntas están a temperatura T_1 y T_2 respectivamente, y una fem térmica E_2 cuando están a T_2 y T_3 , la fem generada, cuando las juntas están a T_1 y T_3 , sería como se muestra en la figura 2.3.

$$E_3 = E_1 + E_2 \dots\dots\dots (2.4)$$

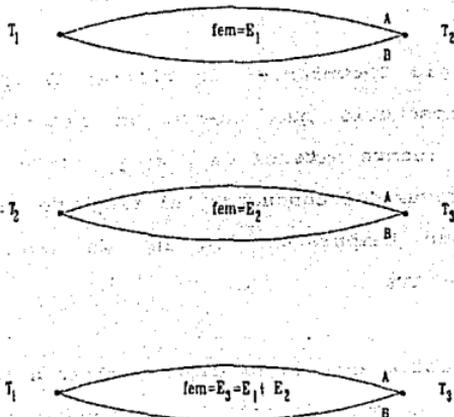


Figura 2.3 Ley de las Temperaturas Intermedias.

La tabla 2.1 muestra alguna de las aleaciones más comúnmente usadas en la fabricación de termopares, así como su nomenclatura y rango recomendado de operación.

Tipo ANSI	Elemento Positivo	Elemento Negativo	Rango F	Util C
B	Platino 30% Rodio	Platino 6% Rodio	1600-3000	870-1700
E	Originalmente Cromel	Constantan	32 -1600	0-870
J	Hierro	Constantan	32 -1400	0-760
K	Originalmente Cromel	Originalmente Alumel	32 -2300	0-1260
R	Platino 13% Rodio	Platino	32 -2700	0-1480
S	Platino 10% Rodio	Platino	32 -2700	0-148
T	Cobre	Constantan	-300 \pm 700	-180 \pm 370

Tabla 2.1 Rango de Aplicación de Termopares.

La adecuada selección de un termopar depende de diversos factores. Algunos de los factores son:

a) Rango de temperatura.- Como se mencionó anteriormente, existen diferentes aleaciones para la construcción de termopares, y cada uno de ellos se recomienda para usarse en un determinado rango de operación, debido a la certeza en la generación de milivoltaje que se tendrá dentro de esos rangos. Fuera de ellos la incertidumbre en la cantidad de milivoltaje generado por grado será mayor.

b) Selección de acuerdo al tipo de atmósfera.- En la tabla 2.2 se mencionan los efectos de los diferentes tipos de atmósfera en los diferentes tipos de termopares.

Tipo de Termopar	Influencia de la Temperatura y Gases de la Atmósfera*
B,R,S	1.- Muy buena resistencia a la oxidación. 2.- Pobre resistencia a atmósferas reductoras. 3.- El platino se corroe fácilmente sobre 1000 °C. Deben usarse tubos de cerámica. No deben usarse tubos metálicos.
K	1.- Buena resistencia a la oxidación. 2.- Pobre resistencia a atmósferas reductoras 3.- Se ve afectado por gases de azufre, sulfurosos o reductores.
J	1.- Las atmósferas oxidantes y reductoras tienen poco efecto sobre su exactitud. Es preferentemente usado en atmósferas secas. 2.- Buena resistencia a la oxidación hasta +400 °C, pero pobre sobre los 700 C. 3.- Buena resistencia a atmósferas reductoras hasta +400 °C. 4.- Debe protegerse del oxígeno y del azufre.
T	1.- Resistente a la corrosión en atmósferas húmedas. 2.- Buena resistencia a atmósferas oxidantes. 3.- Buena resistencia en atmósferas reductoras. 4.- Requiere protección a los humos ácidos.
E	1.- El cromel es atacado por atmósferas sulfurosas. 2.- Buena resistencia a la oxidación. 3.- Buena resistencia en atmósferas reductoras.

Tabla 3.2 Efectos de la atmósfera en los termopares.

*Una atmósfera oxidante ataca principalmente oxidando los elementos del metal base de los termopares. El efecto de una atmósfera reductora (CO,H₂) en los tipos B, R y S es el de reducir parcialmente los refractarios con los que están en contacto los alambres del termopar mediante el producto de la reducción, frecuentemente silicio.

c) Selección de acuerdo al tamaño del cable.- Es muy importante considerar la velocidad de respuesta que se desea tener a los cambios de temperatura. Si se tiene un alambre de diámetro muy pequeño, la velocidad de respuesta será muy rápida, pero los efectos de corrosión se presentarán también más rápidamente que si se tuviera alambres gruesos, los que responden en forma más lenta. Este factor es muy importante, principalmente si los termopares se utilizan desnudos.

d) Selección de acuerdo al costo.- El costo de los termopares es función directa del tipo de material que se emplea para su construcción. Así por ejemplo, los termopares contruidos con cromel-alumel costarán el doble que los contruidos con cobre-constantan o hierro-constantan y los que están contruidos con platino-rodio costarán mucho más que cualquiera de los anteriores.

Es muy común encontrar en la industria que el punto donde se desea realizar la medición está muy alejado del punto donde se encuentra el instrumento de medición, por lo que es necesario utilizar algún tipo de cable para conectar los elementos. La primera solución en que se piensa es, utilizar cable termopar para llevar la señal desde una caja terminal cercana al punto de medición hasta el punto donde está el instrumento. Esto sólo será posible si todas las uniones se encuentran exactamente a la misma temperatura, ya que de no ser así se crearían puntos de generación de fem. térmicas, introduciendo errores de medición.

La solución más conveniente es utilizar un cable de extensión que genere la cantidad de milivoltaje necesaria para compensar los cambios de temperatura en la terminal de conexión remota y en la tablilla de conexiones del instrumento de medición. La tabla 2.3 muestra el tipo de cable de extensión que se recomienda utilizar para cada tipo de termopar.

Cuando se desea dar una mayor protección al termopar, o a cualquier otro elemento de medición de temperatura, se utilizan los tubos de protección o termopozos, los cuales los protegen de la corrosión, contaminación, presión, efectos eléctricos, etc., además permite retirar los sensores, para reparación o calibración, sin interrumpir el proceso.

TERMOPAR	ALAMBRE DE EXTENSION
Cobre - Constantan	Cobre - Constantan
Hierro - Constantan	Hierro - Constantan
Cromel - Alumel	Cromel - Alumel Hierro - Cuproníquel Cobre - Constantan
Cromel - Constantan	Cromel - Constantan
Pt. - Pt. , 10% Rodio Pt. - Pt. , 13% Rodio	Cobre - Aleación 11

Tabla 2.3 Uso de Cables de extensión.

2.5 Compensación de temperatura del termopar

Cuando se mide la temperatura en condiciones de estado no estacionario, es importante tomar en cuenta las características transitorias de respuesta del sistema térmico.

La respuesta del termopar depende de diversos factores: cuando se somete a un cambio escalonado de la temperatura ambiente es posible incrementar la respuesta a la frecuencia del termopar con un circuito compensador eléctrico, en la figura 2.4 se tiene un circuito típico de compensación.

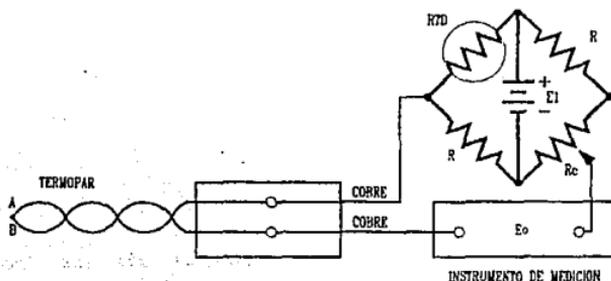


Figura 2.4 Circuito de compensación.

El circuito y el termopar pueden usarse entonces en combinación para producir una respuesta plana dentro de márgenes más amplios de frecuencia. La respuesta del circuito está dada por la siguiente ecuación:

$$\frac{E_o}{E_i} = \alpha \frac{1 + j \omega \tau_c}{1 + \alpha j \omega \tau_c} \dots\dots\dots (2.5)$$

Donde: $\alpha = \frac{R}{R + R_c} \dots\dots\dots (2.6)$

$$\tau_c = R_c C \dots\dots\dots (2.7)$$

- ω = frecuencia de la señal de entrada
- τ_c = Constante de tiempo de termopar
- α = Constante de compensación para alta frecuencia
- R = Resistencias del circuito
- Rc = Resistencia variable para calibración

La amplitud de respuesta está dada por el valor absoluto de la función:

$$\left(\frac{E_o}{E_i} \right)_{\text{Ampl}} = \alpha \frac{1 + j\omega\tau_c}{1 + \alpha j\omega\tau_c} \dots\dots\dots (2.8)$$

La compensación de alta frecuencia del circuito se mejora conforme el valor de α disminuye; pero esto trae una disminución de la salida, ya que la salida en estado estacionario está determinada por:

$$\left(\frac{E_o}{E_i} \right) = \frac{R}{R + R_c} \dots\dots\dots (2.9)$$

En la práctica, el circuito compensador se diseña por lo general de modo que r_c es igual a la constante de tiempo para el termopar. Pueden usarse resistores variables a fin de cambiar la compensación con un cambio en las condiciones térmicas ambientales.

El mismo efecto termoeléctrico que permite a los termopares generar un voltaje al calentar la juntura de medición, se presenta en la denominada juntura fría, que es el punto de unión entre ambos extremos del termopar y las líneas de cobre del instrumento de medición o controlador. Este voltaje generado en la juntura fría, aunque es muy pequeño con respecto al generado en la juntura de medición, da origen a errores considerables al estar efectuando el sensado. Si la juntura fría se encuentra a temperatura ambiente, la compensación de este error se hace relativamente complicada, debido a las variaciones de temperatura ambiente, que generan a su vez diferentes voltajes.

La compensación del error generado en la juntura fría puede hacerse de varias formas, las dos más comúnmente empleadas son:

a) Uso de un baño de hielo en la juntura fría.- De esta forma se mantiene a temperatura constante de 0°C , siendo la lectura en la juntura de medición muy confiable. El método presenta problemas por el hecho de tener que conservar el hielo. Los fabricantes venden cámaras de refrigeración que conservan permanentemente la temperatura

a 0°C. Este método se muestra en la figura 2.5.

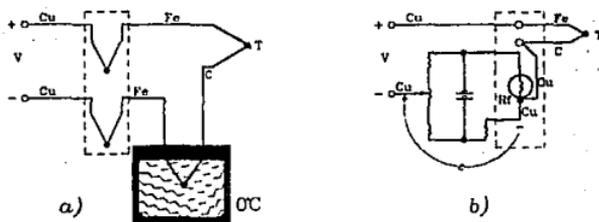


Figura 2.5. Método de compensación en la junta fría
 a) Por baño de hielo. b) red electrónica.

b) Red electrónica de compensación.- En este caso, se conecta un circuito sensor a la junta fría que, para mayor precisión, puede estar en un bloque isotermal figura 2.5b. El circuito genera un voltaje inverso al voltaje de error, el voltaje " e " es una función de la temperatura sensada por R_r . El sensor puede ser un RTD, un termistor o un sensor de circuito integrado.

La compensación del error puede hacerse mediante un programa de aplicación, si los datos provienen del termopar van a ser procesados por una microcomputadora. De tal manera que a través de un convertidor A/D se obtendrá un valor proporcional a la temperatura de la junta fría. Conocido este parámetro, el microprocesador realiza operaciones que compensan el error proveniente del termopar.

Para encontrar el valor de compensación (en forma aproximada) pueden seguirse los siguientes pasos:

- 1.- Hacer la medición con la juntura caliente a una temperatura conocida, por ejemplo el punto de ebullición, y la juntura fría en un baño de hielo.
- 2.- Repetir la operación, esta vez con la juntura fría a la temperatura ambiente, medida con algún termómetro calibrado.
- 3.- La diferencia entre las lecturas de los puntos (1) y (2) da el valor de error. Este valor dividido entre la temperatura ambiente (en °C), resulta que es el error/°C, con lo que se puede compensar el error al conocerse la temperatura en la juntura fría.

2.6 Circuitos integrados (Sensor)

Uno de los circuitos integrados más típicos que se utiliza para el sensado de temperatura es el LM355 de *National*, por su bajo costo y su alta linealidad a pesar de su reducido rango de operación.

El LM355 es un diodo zener, cuyo voltaje de ruptura es variable con la temperatura; con una corriente de 1mA y tiene un coeficiente de variación de $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$

Este tipo de sensores encuentra aplicación en un control de temperatura o dentro de los circuitos de compensación de la juntura fría en los termopares.

2.7 Sensores infrarojos y de cristal

Los detectores ópticos (foto-detectores, "celdas fotoeléctricas") son transductores que responden a una energía radiante en la región óptica del espectro electromagnético (espectro de luz).

La luz es una forma de energía radiante; es radiación electromagnética en donde la porción del espectro está situado entre 10 nanómetros (nm) y un milímetro (mm) ($1\text{mm} = 1000, 10^6\text{nm}$). Por definición estricta, sin embargo, sólo la luz visible, el espectro se extiende desde 380 a 780 nm, puede ser considerado "luz". La banda de las longitudes de onda entre 10 y 380nm es llamada luz ultravioleta (UV). La banda de longitudes de onda entre 780 y 10^6nm es llamada luz infrarroja (IR). Dentro de la banda IR, la porción entre 780 nm y 3 μm es denominada IR cercana y cuando la banda está entre 3 μm y 1000 μm es llamada IR lejana.

La mayor parte de la banda de IR abarca la banda de radiación calorífica de la radiación electromagnética. Las cantidades ópticas pueden ser referidas en términos de cualquiera de los dos magnitudes visual o no visual (radiactividad térmica).

Los detectores ópticos pueden ser divididos en dos grupos: detectores de unidad cuántica (sensores de fotones) y detectores térmicos (sensores de radiación térmica). Las características

espectrales de la luz se muestran comúnmente en términos de longitud de onda; sin embargo, también se muestran en términos de la frecuencia, número de onda o energía de fotones. Un fotón es la unidad del campo electromagnético. El color es una característica de la luz visible asociada con su longitud de onda.

Los fotodetectores dependen de efectos producidos cuando una cantidad de radiación incidente (fotones) reaccionan con electrones en un material sensor. Los detectores térmicos responden a toda la energía incidente radiada y son utilizados primordialmente para sensado de IR.

Los detectores de fotones emplean transducción fotovoltaica, fotoconductiva, juntura foto-conductiva figura 2.6a, fotoemisiva o fotoelectromagnética.

Los detectores térmicos utilizan métodos de transducción termoeléctrica, bolométrica o piroeléctrica. Algunos de estos métodos de transducción se ilustran en la figura 2.6b y 2.6c, donde e =electrones, $h\nu$ =fotones o energía radiante.

Las películas policristalinas son materiales de cristal simple (dopados de germanio y de silicio), son usados como fotoconductores.

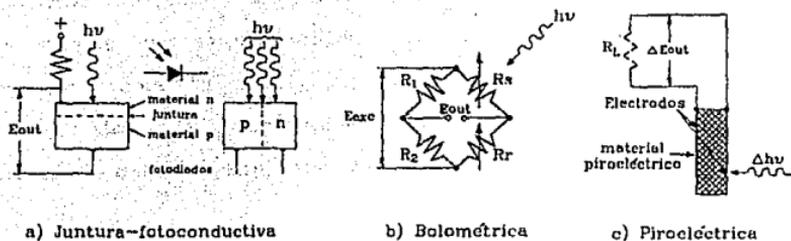


Figura 2.6 Métodos básicos de sensado de luz.

Detección Bolométrica: Los bolómetros usados para sensar flujo radiante, generalmente consisten en un par de termistores (u otro material resistivo y sensitivo a la temperatura como el silicio, antimonio de indio, o cristal simple de germanio) conectado a un circuito puente de media onda u onda completa. Uno de los termistores es oscurecido y colocado a modo de que sense el flujo radiante, mientras el segundo termistor es aislado del flujo y responde sólo a la temperatura disipada.

El circuito típico se muestra en la figura 2.6b, donde R_s es el termistor que sensa la radiación, R_r es el termistor de referencia aislado de la radiación y R_1 y R_2 son resistencias unidas al circuito, usualmente localizadas lejos de la radiación a sensar.

Cuando un voltaje de excitación E_{exc} es aplicado al circuito, el voltaje de salida será proporcional a la diferencia de resistencia entre R_s y R_e , la cual es una medida del flujo incidente radiado. Si se tratara de un circuito tipo puente de media onda, E_{exc} , R_1 y R_2 deberían reemplazarse por dos voltajes de excitación de exactamente la misma amplitud pero de polaridad opuesta, insertadas en lugar de R_1 y R_2 .

Detección piroeléctrica: Los detectores piroeléctricos están compuestos de cristal ferromagnético (sulfato de triglicina, $LiTaO_3$) entre dos electrodos. El cristal exhibe una polarización espontánea (concentración de carga eléctrica) la cual es dependiente de la temperatura. Los cambios del flujo incidente absorbidos por el cristal, causan un cambio en la temperatura del cristal, resultando un cambio en la diferencia de potencial a través de los electrodos; luego este voltaje es neutralizado por un flujo de corriente a través de una resistencia interna y la resistencia de carga externa. La figura 2.6c ilustra este método.

Las longitudes de onda sensada por los pirómetros, generalmente se encuentran en la región (IR) del espectro electromagnético. Los pirómetros de amplia banda usualmente no responden a longitudes de onda significativamente excesivas a $20\mu m$, y este límite es adecuado para mediciones remotas de temperatura. Los sensores fotovoltaicos de antimonio de indio ($InSb$), emplean cristal simple y mejoran significativamente en su sensibilidad cuando operan a bajas temperaturas. Son destinados para operar a $77K$, son integralmente empacados en una estructura fría, el cual es usado como un dewar para nitrógeno líquido o proveen un volumen suficiente para enfriadores que no incorporan líquido (termoeléctrico).

Los sensores fotovoltaicos de tres metales: telurio de estaño conductivo (PbSnTe), operan a 77K y son empacados integralmente en un pequeño dewar lleno de nitrógeno líquido, proveen una respuesta corta en tiempo (abajo de 50 ns) y su respuesta espectral está en la región de 8 a 12 μm . Los enfriadores termoeléctricos son frecuentemente utilizados para este propósito. El montaje de un detector es muy crítico, no solamente debe ser dimensionalmente estable sobre un rango de temperaturas, sino también proveer un buen aislamiento térmico para el detector, pues con un mínimo de energía calorífica incidente, se perdería la función por la conducción en las partes adyacentes. Un subsistema de detección incluye: el detector, su montaje y un contenedor que pueda ser usado como enfriador.

Los cristales de cuarzo: Usados como elementos controladores de la frecuencia en circuitos osciladores, pueden ser usados para sensar temperatura. La sensibilidad de tales cristales a los cambios de temperatura, han tenido una gran aceptación en ingeniería de comunicaciones. Este fenómeno es utilizado para mediciones de temperatura de -50°C a 250°C , usando cristales de cuarzo, especialmente diseñados y cortados en una orientación que optimiza la linealidad de la frecuencia vs. temperatura.

Cuando es conectado en un circuito oscilador, y es excitado en su tercera armónica de resonancia (típicamente cerca de los 30 MHz), tal cristal puede proveer una sensibilidad de 1 KHz/ $^{\circ}\text{C}$. La salida del oscilador es usualmente mezclada con la salida de un oscilador de referencia dado que se obtiene una frecuencia superior; esta diferencia de frecuencia puede ser monitoreada.

2.8 Ventajas y desventajas de los diferentes sensores

En la tabla 2.4 se presenta un resumen de las principales ventajas y desventajas de los diferentes sensores.

SENSORES	VENTAJAS	DESVENTAJAS
TERMOPAR	<ol style="list-style-type: none"> 1. No requiere fuente de alimentación 2. No es frágil 3. Bajo costo 4. Variedad amplia 5. Amplios rangos de temperatura 6. Sensa temperaturas muy bajas 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Respuesta no lineal 2. Bajo voltaje de salida del termopar 3. Requiere de una referencia 4. Baja estabilidad 5. Baja sensibilidad
RTD	<ol style="list-style-type: none"> 1. Buena estabilidad 2. Mayor precisión 3. Mayor linealidad que el termopar 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Costo elevado 2. Requiere de una fuente de corriente 3. Baja resistencia 4. Calentamiento 5. Rango de temperatura limitado
TERMISTOR	<ol style="list-style-type: none"> 1. Coeficiente de variación ($-500\Omega/^{\circ}\text{C}$) 2. Respuesta rápida 3. Se usa en circuitos de compensación 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Respuesta no lineal 2. Rango de temperatura limitado 3. Frágil 4. Requiere de una fuente de corriente 5. Calentamiento
C.I.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mayor linealidad 2. Bajo costo 3. Coeficiente de variación de $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Temperatura no mayores a 200°C 2. Requiere de fuente de voltaje 3. Respuesta lenta 4. Calentamiento 5. Adaptación limitada
INFRARROJOS Y CRISTAL	<ol style="list-style-type: none"> 1. No requieren de excitación externa 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Su montaje es muy delicado

Tabla 2.4 Ventajas y desventajas de los diferentes sensores de temperatura.

En la figura 2.6 se muestra las diferentes gráficas de comportamiento de los diferentes sensores.

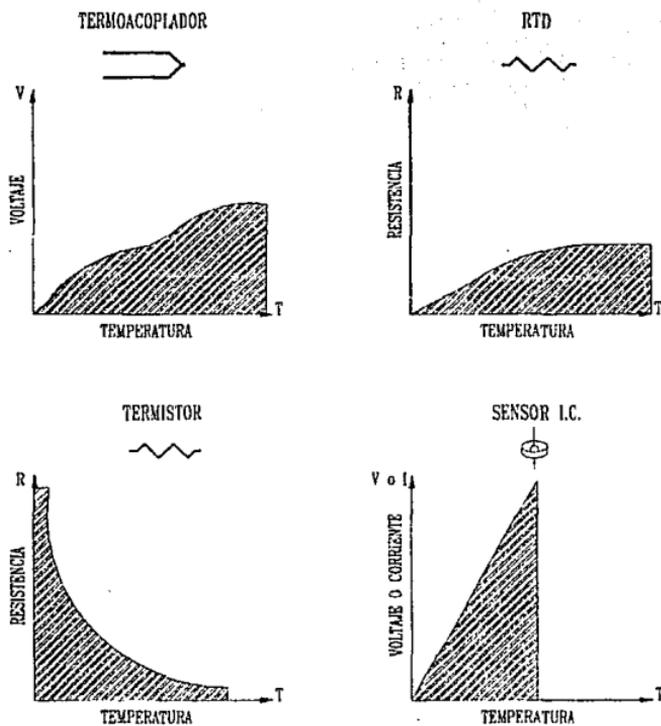


Figura 2.6 Gráficas de comportamiento de los diferentes sensores de temperatura.

En estas gráficas observamos que el termopar tiene un comportamiento lineal dentro de un rango de temperatura y conforme esta aumenta, la respuesta pierde linealidad; aún cuando rebasa este rango sigue habiendo una respuesta pero es no lineal. El comportamiento del RTD proporciona una respuesta lineal hasta llegar a un valor constante donde ya no es útil; a diferencia del termistor, observamos que en un rango de temperatura muy pequeño, la respuesta es constante y pasando este rango decrece en forma logarítmica conforme aumenta la temperatura. Por otra parte, la respuesta del sensor de C.I. tiene una respuesta lineal conforme aumenta la temperatura sin embargo su rango es muy limitado.

De acuerdo a los requerimientos del sistema a diseñar, se necesita contar con un sensor que tenga un amplio rango de temperatura y que sea capaz de sensar temperaturas muy bajas, del orden de 0°C a -196°C , en donde esta última es la temperatura de ebullición del NL. Debido a lo anterior, el único sensor de temperatura que se ajusta a estas necesidades es el termopar.

CAPITULO 3

CONVERSION ANALOGICA DIGITAL

CONVERSION ANALOGICA DIGITAL

3.1 Convertidores analógico digital

Las señales eléctricas de la mayoría de los transductores son analógicas por naturaleza, para procesar dicha señal con equipo digital es necesario convertir la información original.

Los convertidores analógico digital (CAD) son normalmente el enlace entre el transductor y el procesador digital y son casi la única fuente de errores en un instrumento digital, de aquí que la calidad del convertidor (A/D) establecerá la calidad final del equipo.

Las señales analógicas provenientes de transductores más comunmente empleados son voltaje y corriente, los cuales son fácilmente convertibles a tiempo ó frecuencia, o bien pueden compararse con fuentes de referencia.

Los diferentes tipos de convertidores (A/D) se pueden clasificar como sigue:

- a) Convertidores (A/D) por comparación de voltaje.- En este grupo están incluidos los de balance continuo, aproximaciones sucesivas, y el convertidor de rampa discreta. Estos métodos utilizan un convertidor digital analógico para proporcionar un voltaje de referencia variable que se compare con la entrada.

- b) Convertidor (A/D) que usan técnicas de carga y/o descarga de un capacitor.- En este grupo está el convertidor de voltaje a frecuencia, convertidor de ancho de pulso y el convertidor de doble integración.

3.2 Convertidor A/D de aproximaciones sucesivas

La técnica de aproximaciones sucesivas es la más usada porque puede realizar conversiones en un tiempo breve, otra ventaja adicional es que el tiempo de conversión es fijo e independiente de la magnitud de la entrada, permitiendo una interfaz eficiente con los microprocesadores. Su inconveniente principal es propensión a los cambios de entrada durante la conversión (incluyendo ruido).

Las aproximaciones sucesivas son similares a sopesar una masa en una balanza de precisión, utilizando pesas bien conocidas y cuyos valores forman una progresión binaria. Cada pesa agrega a su vez, comenzando por la mayor; si es excesiva en la balanza se retira, y si no es así, se deja. Luego se prueba la siguiente más pesada, a continuación la siguiente y así sucesivamente. Cuando se han probado todas las pesas, la suma de las que permanecen en la balanza es una representación exacta del peso desconocido. Si la balanza tiene una desviación de 1.2 LSB (o sea que la primera transición se produce a 1/2 LSB en lugar de cero), la suma de las pesas que quedan en la balanza está dentro de $\pm 1/2$ LSB del valor correcto.

Un convertidor de aproximaciones sucesivas consiste en un convertidor digital analógico, un comparador de voltajes o corrientes, un reloj, un registrador de cambios, lógica de control y un registro de salida, figura 3.1. La línea básica de control para iniciar la conversión es la línea de habilitación del convertidor. Los datos de salida son válidos hasta que se completa la conversión, y se indica con la línea de estado (EOC) que genera el convertidor.

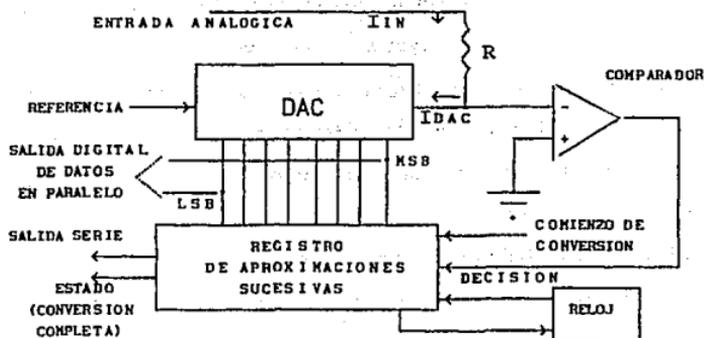


Figura 3.1 Diagrama de bloques de un CAD de aproximaciones sucesivas.

Los convertidores A/D de aproximaciones sucesivas son los que mayor uso tienen en diseños con microprocesador. Esta posibilidad reduce gradualmente el costo total del convertidor, cuyos circuitos se simplifican a un DAC y un comparador.

Los sistemas de adquisición de datos que no requieren altas frecuencias de muestreo emplean usualmente esta técnica.

3.3 Circuitos de muestreo y retención (SAMPLE & HOLD)

El *sample & hold* es un dispositivo que consta de una entrada analógica, de una salida y una entrada de control. Como su nombre lo indica el *sample & hold* opera en modo de dos estados constantes. En el modo *muestreo (sample)*, la salida se toma como una entrada fidedigna hasta que el comando de mantenimiento es aplicada a la entrada de control. En el modo *retención (hold)*, la salida retiene el último valor de la señal de entrada que tenía hasta el tiempo en que la orden de retención fue aplicada.

En un sistema de adquisición de datos, el *sample & hold* es frecuentemente requerido para "bloquear" las variaciones rápidas de señales antes de ser procesadas por el sistema.

Para una retención precisa de la amplitud de la señal por un margen de tiempo apropiado, en los sistemas de medición resulta crítico involucrar la conversión analógico-digital, detección de pico, multiplexaje, y otras funciones donde el tiempo es esencial.

La entrada de control es usualmente TTL o ECL. Un estado lógico inicial y mantiene el modo de Muestreo, el otro estado realiza lo mismo para la condición de *Hold*. Un *sample & hold* implica que el dispositivo muestrea la entrada por un corto tiempo y permanece en el modo de retención durante un ciclo de trabajo.

Funcionamiento del muestreo y retención.- Los dispositivos en cuestión tienen cuatro componentes, el amplificador de entrada, el dispositivo de almacenamiento de energía (capacitor de mantenimiento), el *buffer* de salida y los circuitos de conmutación que son comunes a todos los circuitos de muestreo y retención, como se muestra en la configuración típica de la figura 3.2

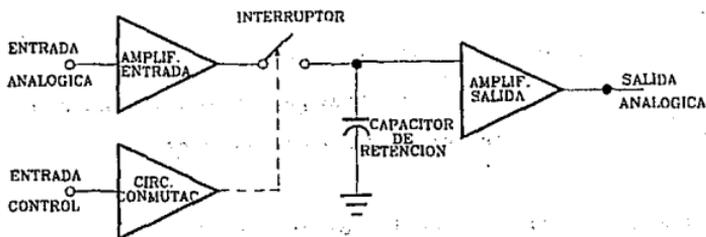


Figura 3.2 Estructura básica de un circuito de muestreo y retención.

El dispositivo de almacenamiento de energía es el corazón del S&H, por lo general, casi siempre es un capacitor. La entrada del *buffer* del amplificador presenta una alta impedancia a la fuente de la señal y provee ganancia en corriente para cargar el capacitor de mantenimiento. El *buffer* de salida ofrece una alta impedancia al capacitor de mantenimiento para que mantenga el

voltaje almacenado para no descargarse prematuramente. El circuito de conmutación y su *driver* conforman el mecanismo por el cual el capacitor de mantenimiento es alternadamente conmutado entre el muestreo y retención.

Especificaciones.- Hay cuatro grupos de especificaciones que propiamente describen la operación del *sample & hold*. Existen las características estáticas y dinámicas, que describen la operación entre los modos *track* y *hold*. Las especificaciones dinámicas describen las transiciones del Muestreo a la retención y de la retención al Muestreo. Estos grupos son:

- Modo de muestreo
- Transición de muestreo a retención
- Modo de retención
- Transición de retención a muestreo

Modo de muestreo.- Durante el modo de Muestreo o *Track* de operación, el *sample & hold* es simplemente un amplificador con un ancho de banda limitado que puede o no proveer ganancia. La operación en este modo es descrita por las mismas especificaciones que son usadas para caracterizar cualquier amplificador analógico. Desde luego, muchos S&H son más pequeños que un amplificador operacional con un capacitor y un interruptor. Las principales especificaciones usadas para describir la operación del modo muestreo son:

o **Offset:** Para una entrada cero, el nivel al cuál la señal se desvía de cero, sobre tiempo y temperatura.

o No linealidad: La cantidad que la gráfica de salida vs. entrada se desvía de la "mejor línea recta". Esto es usualmente especificado como un porcentaje de escala completa (*full-scale*).

o Ganancia: El factor de multiplicación que describe la función de transferencia "DC" de la salida con respecto a la entrada.

o Ancho de Banda: Describe la respuesta en frecuencia en términos de una atenuación de la salida sobre la frecuencia; esto es usualmente caracterizado por el valor a -3 dB.

o Slew-Rate: El máximo rango de cambio en el voltaje de salida cuando una fracción de señal analógica es aplicada.

Transición de muestreo a retención.- Las especificaciones usadas para describir la transición desde el Muestreo a Retención y de Retención a Muestreo, parece confundir a los usuarios de S&Hs. Esos términos son únicos a los dispositivos S&H y merecen una especial atención.

o Tiempo de Apertura: La propiedad más esencial es la habilidad para desconectar rápidamente el capacitor de mantenimiento desde el buffer del amplificador de entrada. El breve -pero no nulo- intervalo de tiempo requerido para esta acción es llamado tiempo de apertura. El valor actual de voltaje que queda retenido al final del intervalo es una función de ambos, la señal de entrada y los errores introducidos por la misma operación de conmutación.

o Offset de Muestreo a Retención o Pedestal: Es un error de paso, el cual causa que el valor retenido difiera del último valor durante el muestreo; esto es causado por una carga vertida por el capacitor de retención vía una capacitancia a el interruptor del circuito de control. El error de offset constante, llamado transferencia de carga, puede ser compensado acoplando la señal de una fase opuesta al capacitor de retención, através de un circuito de conmutación auxiliar y un capacitor de compensación.

o Retardo de Apertura (o más significativamente Retardo de Tiempo de Apertura Efectivo): La figura 3.3 muestra la secuencia de lo que sucede cuando la orden de retención es aplicada con una señal de entrada de pendiente arbitraria. Este retardo es definido como el intervalo entre el inicio de la orden de retención y el instante donde la señal de entrada fue igual al valor retenido. Esta es una especificación más de uso que el tiempo de apertura permitido porque incluye los efectos de la propagación de retardos, como el tiempo de apertura.

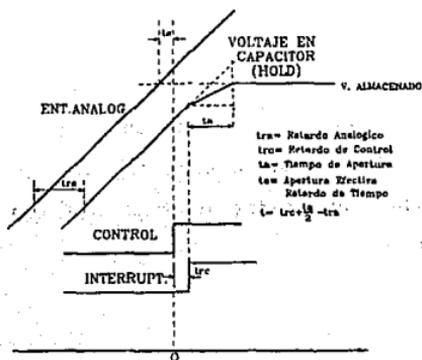


Figura 3.3 Temporización interna de un sample & hold.

o Retardo de Tiempo del interruptor: El intervalo de tiempo entre los inicios de la orden de Retención y los comienzos del cambio de estado en la salida analógica. Este retardo ocurre en ambas transiciones de muestreo a retención y de retención a muestreo.

Modo de retención.- Durante el modo de retención hay errores debido a imperfecciones en el interruptor, el amplificador de salida y el capacitor de retención.

Transición de retención a muestreo.- Tiempo de Adquisición:
El intervalo de tiempo durante el cual el S&H deberá permanecer en el modo de muestreo para que el capacitor de retención mantenga la entrada a escala completa.

3.4 Principales errores que se encuentran en los convertidores A/D

a) Error de cantidad.- A este tipo de error se le conoce también como resolución o precisión de conversión, y es función del número de bits en la palabra digital convertida; el error de cantidad tiene un máximo de $\pm 1/2$ del valor del dígito menos significativo (LSB).

b) Error por equipo.- Este tipo de errores se presenta en todo equipo electrónico y se debe principalmente a errores en los valores de las componentes empleadas (tolerancias), a cambios en los valores de dichos componentes con la temperatura, el tiempo, la humedad etc. Para evitar en parte lo anterior deberá considerarse lo siguiente:

- 1.- Escoger componentes con tolerancias muy pequeñas, con lo que se logra que las variaciones sean muy pequeñas y se logre especificar al equipo con un valor adecuado de tolerancia.
- 2.- Diseñar el equipo de manera que los cambios previstos se cancelen unos con otros y el error por equipo se reduzca considerablemente.

3.5 Características principales de un convertidor A/D

a) Rapidez.- La velocidad de conversión normalmente se expresa en *Bits/seg*. La velocidad de conversión de un convertidor analógico digital normalmente depende de:

- 1.- El contenido armónico de la señal analógica por convertir.
- 2.- El número de señales analógicas que se quieren convertir con un mismo equipo.

De acuerdo con el teorema de *Nyquist*, para reproducir fielmente una señal esta debe muestrearse cuando menos al doble de la máxima frecuencia presente en la señal. En caso de que la señal este cambiando se presenta un error de conversión, a este se le denomina ERROR DE RAPIDEZ.

b) Rangos de voltajes analógicos.- Este parámetro se refiere a la máxima excursión positiva o negativa del voltaje analógico, en los cuales se tiene una operación adecuada del convertidor analógico digital.

c) Impedancia de entrada del convertidor A/D.- Cuando se tiene una fuente de voltaje analógico y que necesariamente presenta una impedancia de fuente, se obtiene un error que se puede calcular de la siguiente manera:

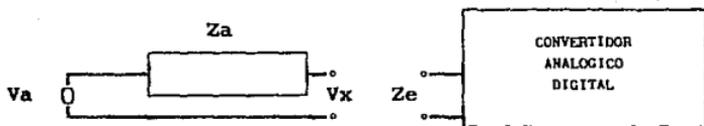


figura 3.4 Fuente analógica conectada a un convertidor analógico digital.

El voltaje que aparece en la entrada del convertidor es:

$$V_x = \frac{Z_e}{Z_e + Z_a} V_a \dots \dots \dots (3.1)$$

- V_x = Voltaje a la entrada del convertidor
- Z_e = Impedancia a la entrada del convertidor
- Z_a = Impedancia de la fuente
- V_a = Voltaje de la fuente

de manera que el error debido a la impedancia de entrada será:

$$e = \left(1 - \frac{Z_e}{Z_e + Z_a} \right) \times 100 \dots \dots \dots (3.2)$$

de donde se puede concluir que el error por impedancia de entrada tiende a cero a medida que Z_e tiende a infinito, por lo tanto es conveniente diseñar convertidores con una alta impedancia de entrada, lo cual puede lograrse fácilmente con los amplificadores

operacionales.

d) Salida Digital.- La salida digital de un equipo A/D debe especificarse debidamente, tanto si está en serie o paralelo, los niveles de las cantidades lógicas (1,0), los tiempos de subida y caída de los pulsos, etc. Es necesario que la salida digital esté caracterizada, para poder diseñar los enlaces con otros equipos.

e) Rango de Temperatura.- Normalmente se especifica el rango de temperatura en el cual el convertidor analógico digital puede trabajar adecuadamente, dentro de la tolerancia y errores previamente establecidos.

f) Potencia de consumo y factores mecánicos.- Se debe especificar el voltaje de alimentación para el equipo convertidor y la potencia de consumo, así como las dimensiones físicas y peso.

g) Rechazo de modo común.- Este rechazo se refiere a la posibilidad que tenga el circuito de un convertidor analógico digital de rechazar señales sobrepuestas o montadas sobre las señales analógicas a medir, esta señal de perturbación puede ser causada por: inducción electromagnética, rizo de la fuente de poder, etc.; por lo general las señales sobrepuestas que se presentan en la práctica son múltiplos de la frecuencia de la línea, pero puede presentarse cualquier otro tipo de señal.

Una solución a este problema es introducir a la entrada del convertidor un filtro paso bajas, el cual eliminará todos los componentes de alta frecuencia y ruidos que tenga la señal analógica por convertir. Sin embargo, el incluir un filtro de este tipo aumenta el tiempo de respuesta del equipo lo cual es mayor a un segundo.

3.6 Características de convertidores A/D de integración

DESEABLES

- a) Excelente linealidad.
- b) No requieren técnicas de muestreo y retención (*Sample and Hold*).
- c) Bajo costo y simplicidad.
- d) La sección contadora puede estar alejada del circuito de entrada permitiendo enviar la información por dos canales.
- e) La respuesta puede hacerse independiente de los elementos que lo constituyen.
- f) Buen rechazo a señales alternas y al ruido en general.

INDESEABLES

- a) Generalmente el tiempo de conversión es largo.
- b) Normalmente funcionan con una sola polaridad pero con circuitos más complejos pueden operar en forma bipolar.

APLICACIONES

- a) Multímetros digitales.
- b) En general donde se requiera mucha rapidez de conversión.

3.7 Características de convertidores A/D de balance continuo

DESEABLES

- a) No requieren el uso de muestreo y retención (*sample and Hold*)
- b) La salida está permanentemente relacionada con la entrada
- c) Conversión muy rápida para variaciones pequeñas de señal analógica

INDESEABLES

- a) Tiempo de conversión largo para cambios grandes en la entrada
- b) No puede obtenerse la información de salida en serie
- c) El último dígito oscila continuamente ± 1

APLICACIONES

- a) Servocontroles con procesamiento digital
- b) Conversión de señales de audio a la forma digital
- c) Conversión de señales provenientes de transductores

3.8 Características de convertidores A/D de aproximaciones sucesivas

DESEABLES

- a) Tiempos de conversión muy cortos
- b) Alta resolución
- c) Información de salida en serie o en paralelo según se desea
- d) Buena linealidad
- e) La exactitud no depende de la estabilidad del reloj

INDESEABLES

- a) Se requieren de circuitos de muestreo y retención (*Sample and Hold*)
- b) Complejidad en el circuito

APLICACIONES

- a) Interfaz entre variables físicas y computadora
- b) Toda clase de instrumentos donde se requiere rapidez y exactitud

3.9 Consideraciones para la selección de convertidor A/D

Son varios los parámetros para seleccionar un convertidor analógico digital, a continuación se mencionan los de mayor importancia, y dependerá de la aplicación que se le destine a dicho convertidor, para que estas consideraciones puedan ser ampliadas o excluidas.

- Rango de voltaje de entrada.
- Resolución que se desea.
- Exactitud o tolerancia de error.
- Condiciones de operación (temperatura, humedad, etc.).
- Tiempo máximo de conversión.
- Características de la fuente de alimentación de energía.
- Tipo de código a la salida (binario, BDC, etc.).
- Salida en serie o paralelo.
- Nivel de la señal de salida.
- Características de la señal de entrada (muestreada, filtrada, procesada en general, o con ruido).
- Acoplamiento de la señal de entrada.
- Número de canales de entrada.
- Potencia máxima de consumo.

CAPITULO 4

SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO

SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO

4.1 Motores

El objetivo fundamental de un motor es convertir la energía eléctrica en energía mecánica. En la figura 4.1 se muestra un motor elemental, que consta de:

- Una excitación para suministrar un fuerte campo magnético entre los polos N y S.
- Una bobina C cuyos lados aa' y bb' están conectados a las delgas K₁ y K₂.
- Las escobillas B₁ y B₂.

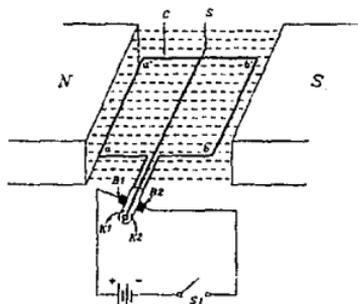


Figura 4.1 Motor elemental DC.

La bobina C y el conmutador K están montados en un eje común S de manera que pueda girar libremente. Una fuente de DC proporciona la alimentación de energía eléctrica para el motor. Cuando se cierra el interruptor S₁, la corriente pasa por la bobina C a través del siguiente camino: la terminal negativa de la fuente S₁, escobilla B₂, lado bb' de la bobina, lado aa' de ésta, sale por B₁ y regresa a la fuente por su terminal positiva. La corriente, al pasar por los lados aa' y bb' de la bobina, produce campos magnéticos alrededor de estos conductores como indica la figura 4.2.

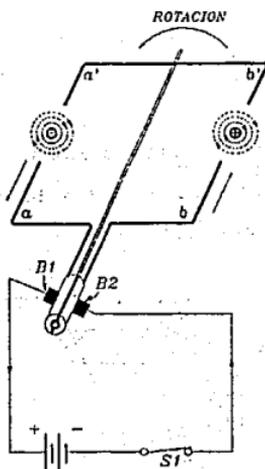


Figura 4.2 El campo magnético del motor elemental.

Cuando se introduce en un campo magnético una bobina por la que está pasando una corriente, las interacciones de los campos magnéticos que rodean los lados de la bobina sobre el campo magnético de la excitación del motor producirán un par en dichos lados y obligarán a girar a dicha bobina figura 4.3a

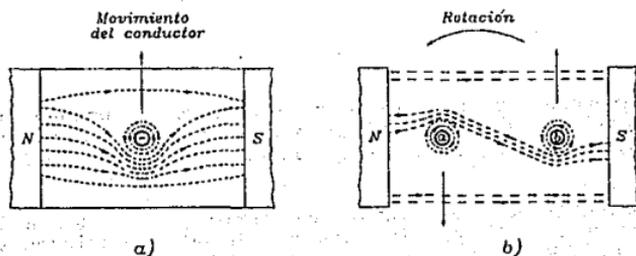


Figura 4.3 a) Dos conductores en una bobina del inducido.
 b) Un conductor con electrones en movimiento.

La figura 4.3b muestra que el campo magnético circula alrededor del conductor y el campo entre los polos N y S está en la misma dirección en la parte inferior del conductor, pero opuesta en la parte superior de dicho conductor. Los campos magnéticos quedan distorsionados y dan lugar a un fuerte campo en la parte inferior del conductor y a un campo muy débil en la parte superior. Las líneas magnéticas, según esto, ejercerán una

fuerza en el conductor que moverá a éste en dirección hacia arriba. Cuando se aplica este principio al motor elemental, como el de la figura 4.1, se crearán unas fuerzas en los conductores aa' y bb' que obligarán a estos a girar en sentido contrario de las manecillas del reloj, esto también se ilustra en la figura 4.3a.

Las características de los motores son:

- **Potencia:** Es el trabajo realizado en la unidad de tiempo; para los motores es importante la potencia de salida disponible en el eje del motor.
- **Voltaje:** Es el voltaje necesario para poder alimentar a los motores, para los motores de DC se extiende desde 1.5 a 1500 V y para los motores de AC se extiende desde 1.5 a varios miles de volts, también existen otros motores de mayor tamaño que emplean voltajes de 4000 a 6000 V.
- **Frecuencia:** En motores industriales se emplea casi siempre 50 y 60 Hz, otros valores empleados a veces son 25, 40 y 400 Hz.
- **Velocidad:** Es la velocidad de rotación de su eje y se expresa en revoluciones por minuto (rpm).
- **Par:** Se llama así a la medida del efecto de torsión producido en el eje del motor.

4.2 Clasificación de motores

Los motores de corriente continua se pueden clasificar según su tipo de excitación en:

1. Motores de Imanes permanentes y
2. Motores con electroimán.

El empleo de imanes permanentes para originar el campo se limita generalmente a motores muy pequeños. Todos los de mediano y gran tamaño emplean electroimanes para originar el campo. En este caso los motores se clasifican a su vez según la manera en que están conectados los devanados del campo con respecto al inducido. Según esto pueden ser:

1. Motores de derivación.
2. Motores Serie.
3. Motores Compound.

Los de corriente alterna se hacen según una gran diversidad de modelos y se pueden clasificar de varias maneras. Una clasificación general bastante amplia es según su alimentación, es decir:

1. Polifásicos y
2. Monofásicos.

A partir de estos tipos se pueden hacer otras clasificaciones atendiendo el principio de funcionamiento en:

1. Inducción,
2. Sincrónicos,
3. De fase dividida,
4. De polos fantasmas,
5. De repulsión,
6. Universales,
7. De histéresis y
8. Síncronos.

Debido a que el objetivo de este capítulo es solamente dar una introducción a los motores y enfocarse solamente a los motores de pasos, a continuación se da una descripción más detallada solamente de este tipo de motor.

4.3 Motores de pasos

La característica principal del motor de paso es la capacidad para traducir una excitación pulsada (onda cuadrada) en incrementos discretos de movimiento angular de la flecha precisamente definidos.

La siguiente terminología está involucrada con el uso de los motores de pasos en sistemas con una amplia gama de aplicaciones.

- A) **Angulo de paso:** El ángulo al cual la flecha se mueve por cada pulso aplicado es llamado ángulo de paso y se expresa en grados. En cada intervalo de tiempo la polaridad en el arrollamiento es intercambiada.

- B) **Resolución:** El término describe el número total de pasos para un giro de 360° o una vuelta completa. El paso por revolución es calculado dividiendo el ángulo de paso entre 360°.
- C) **Paso por segundo:** Definido como el número de movimientos angulares del motor en un segundo.
- D) **Paso preciso:** Generalmente se expresa en por ciento e indica el error total introducido por el motor en un paso. El error es no acumulativo, no se incrementa cuando se establece un siguiente paso. En un sistema de posicionamiento lineal, con una resolución de 0.001 pulgadas, un "3%" introducirá un máximo de 0.00003 pulgadas de error al sistema.
- E) **Torca de Mantenimiento:** Es la máxima torca fija que puede ser aplicada a la flecha de un motor desenergizado sin causar rotación continua. La detención del mecanismo mantiene al rotor en la posición de paso en el evento de una energía truncada (una división de energía aplicada) y esta característica puede ser usada en ciertas aplicaciones. Si la frecuencia de aplicación del pulso, o el rango de pasos es excesiva, el motor perderá sincronismo con los pulsos aplicados.
- F) **Torca Máxima Estable:** El motor al quedar parado, resiste la rotación y se define como Torca máxima estable, la que puede ser aplicada a la flecha de un motor energizado sin causar rotación continua. Si el motor es construido con excitación magnética permanente, entonces la flecha del motor puede resistir la rotación cuando el arrollamiento del estator no es excitado.
- G) **Respuesta al Paso:** Cuando se origina un paso, el motor responderá en un período de tiempo específico; esta respuesta al paso o "tiempo para un simple paso" es una función de la razón de la torca-inercia del motor y de las características del sistema electrónico de control de los pulsos para el motor. Los rangos son dados para condiciones sin carga, con el tiempo expresado generalmente en milisegundos.
- H) **Razón Torca-Inercia:** Esta razón se determina dividiendo la torca de mantenimiento en (onza-pulgada) entre la inercia del rotor en (onza-segundo²). Cuando se tienen problemas con la respuesta al paso es importante conocer la razón torca-inercia del motor.

- I) **Resonancia:** Los motores de pasos son un sistema de masa con tendencia a la vibración y como tal, tiene características de una cierta frecuencia "natural". Cuando el motor tiene una frecuencia natural o alcanza una "resonancia", un incremento de nivel audible del motor en operación puede ser detectado. En caso de una resonancia severa, el motor puede perder pasos y/u oscilar cerca del punto. La frecuencia a la cual la resonancia ocurre varía, dependiendo del motor y la carga. En muchas aplicaciones esto no ocurre a cualquier grado perceptible, sin embargo, el diseñador debe tener en cuenta que tal condición puede presentarse y también especificar las características de resonancia de un motor, tales deberán ser obtenidas de los datos del fabricante.
- J) **Drivers:** Es un término utilizado para describir la circuitería que controla los pasos de un motor, usualmente consiste de una fuente de poder, una lógica secuencial y componentes de conmutación a la salida. Estos drivers son denominados generalmente Traductores.
- K) **Traductores:** Es un control electrónico que convierte pulsos en una secuencia de conmutación propia, resultando en un motor que da un paso por cada pulso recibido. Los traductores usualmente no tienen capacidad de llevar un conteo.
- L) **Razón del Pulso:** Es la razón a la cual los arrollamientos son conmutados.
- M) **Ramping:** El proceso para controlar la frecuencia del pulso para acelerar el rotor desde una velocidad cero a máxima velocidad, así como para desacelerar el rotor desde la máxima velocidad. Esto incrementa la capacidad de controlar el motor y las cargas a altos niveles de velocidad, particularmente con cargas inerciales.
- O) **Arranque/Paro sin Error:** Es una característica adicional que se encuentra en las curvas Velocidad-Torca, la cual indica el máximo rango de paso al cual el motor puede arrancar y parar, sin perder pasos o ponerse fuera de sincronía. Esta condición no asume tiempo de aceleración/desaceleración.

- P) Slew Rate: Se define como la región de operación a alta velocidad donde el motor puede girar unidireccionalmente en sincronía. Sin embargo, no puede instantáneamente arrancar, parar o revertirse.

La figura 4.4 proporciona una representación esquemática de un tipo de motor de pasos. El estator está constituido por cuatro polos electromagnéticos y el rotor es un imán permanente de dos polos. Si los polos electromagnéticos del estator se activan de tal manera que el polo 3 sea N (Norte magnético) y el polo 1 sea S, el rotor estará alineado tal como se ilustra. Si el estator se excita de modo que el polo 4 sea N' y el polo 2 sea S', el rotor realiza un giro de 90° , en el sentido de giro de las manecillas del reloj. Conmutando rápidamente la corriente del estator por medios electrónicos, será posible hacer que el movimiento del rotor aparezca como continuo.

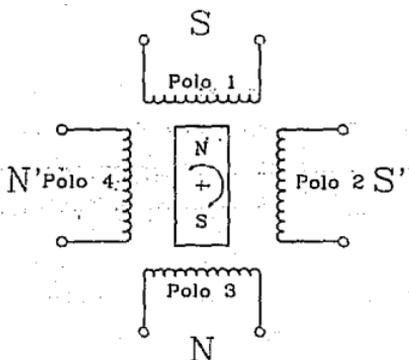


Figura 4.4 Representación Esquemática de un Motor de Pasos.

Un motor de pasos es similar al motor de D.C. magnético-permanente, ambos tienen un rotor o armadura magnético-permanente y un alambre o serie de alambres y forman un arreglo de arrollamientos. La corriente que fluye a través del arrollamiento produce un campo magnético permanente provocando el giro del rotor. En un motor estándar, un tipo de conmutación o *switcheo* toma lugar. La conmutación es requerida para cambiar la polaridad del campo del arrollamiento dado que el campo magnético siempre fuerza al rotor a moverse. En un motor típico el proceso de conmutación es acompañado del uso de escobillas y un conmutador (un cilindro segmentado) montado en la flecha del rotor. Como el rotor y el conmutador giran, los segmentos del conmutador rozan las escobillas; así las escobillas, los segmentos del conmutador y los arrollamientos cierran el circuito. Si el flujo de corriente a través de los arrollamientos (en secuencia ordenada) el rotor girará en un solo sentido.

Rango de operación: Se muestran en la tabla 4.1 los rangos típicos para un motor de pasos SLO-SYN. Mientras los rangos de voltaje se mantienen constantes, obsérvese que los requerimientos de corriente están dados en "amperes por arrollamiento".

En la secuencia de conmutación típica de 4 pasos, dos arrollamientos están en "on" en cualquier tiempo dado. El requerimiento de la corriente total del motor es, por consiguiente, dos veces los "amperes por arrollamiento". Los

rangos de resistencia e inductancia están también indicados como "por arrollamiento".

SIO-SYN[®] MOTORES DE PASOS

TIPO DE MOTOR		TIEMPO PARA UN SIMPLE PASO (m. seg)	VOLTS DC	AMPERES POR ARROLLAM.	RES/ARROLL (Ω) OHMS	INDUCT (mH) POR ARROLL.	TIPO DE MOTOR		TIEMPO PARA UN SIMPLE PASO (m. seg)	VOLTS DC	AMPERES POR ARROLLAM.	RES/ARROLL (Ω) OHMS	INDUCT (mH) POR ARROLL.
3% PRECISION	5% PRECISION						3% PRECISION	5% PRECISION					
W061-FC02	W061-FC02	2.5	5.1	1.0	5.1	10.0	W093-FC11	W093-FC11	4.1	2.8	5.5	0.52	2.9
W061-FC06	W061-FC06	2.0	1.3	3.9	0.33	0.63	W093-FC14	W093-FC14	3.4	2.2	7.0	0.91	1.65
---	W061-FC001	7.5	11.8	0.44	23	43	---	W111-FC12	4.4	2.3	6.1	0.97	2.4
---	W061-FC002	4.2	5.9	0.88	5.9	11	---	W111-FC16	4.0	1.7	8.0	0.21	1.1
---	W061-FC011	12	23.6	0.22	65	142	---	W111-FC302	27	9.0	1.55	4.6	3.0
W062-FC03	W062-FC03	3.5	5.3	1.6	3.4	8.5	---	W111-FC310	32	10	1.25	7.0	4.5
W062-FC04	W062-FC04	2.8	4.3	1.8	2.6	5.7	---	W111-FC327	23	4.6	3.1	1.1	3.3
W062-FC09	W062-FC09	2.2	1.7	4.7	0.37	0.8	---	W112-FC06	7.5	7.2	3.1	2.3	22
W063-FC06	W063-FC06	2.6	3.4	2.9	1.16	2.9	---	W112-FC08	---	---	---	---	---
W063-FC09	W063-FC09	2.4	2.2	4.6	0.48	1.2	---	W112-FC08	7.0	5.7	3.8	1.5	14
W091-FC03	W091-FC03	8.5	5.6	1.6	3.5	16.2	---	W112-FC09	8.5	4.7	4.7	1.0	9.0
W091-FC06	W091-FC06	3.9	2.9	3.1	0.05	3.8	---	W112-FC12	---	---	---	---	---
W091-FC09	W091-FC09	3.1	1.8	4.7	0.39	1.5	---	W112-FC12	5.5	3.6	6.1	0.60	5.3
---	---	11	9.0	0.85	7.3	27.5	---	W112-FC25	---	---	---	---	---
W092-FC06	W092-FC06	4.1	3.0	4.0	0.80	4.0	---	W112-FC25	6.0	1.8	12.7	0.14	1.0
W092-FC09	W092-FC09	3.9	2.5	4.6	0.55	2.5	---	W113-FC40	6.5	1.3	20	0.062	0.6
W093-FC07	W093-FC07	6.3	4.5	3.5	1.1	5.5	---	W172-FC301	24	0.8	20	0.040	0.45

Tabla 4.1 Características Eléctricas de Motores de Paso.

El paso de motores es generalmente fabricado en subdivisiones para clasificación de potencia integral (en caballos de potencia), y son usados en una amplia variedad de posicionamientos. El motor de paso es compatible con un moderno equipo digital, y esta compatibilidad hace expandible grandemente su potencia comercial. En la tabla 4.2 se muestran los ángulos de paso típicos de motores. Otros ángulos de paso pueden ser establecidos para aplicaciones especiales.

Angulo de paso (grados)	Pasos por revolución
0.72	500
1.80	200
2.00	180
2.50	144
5.00	72
15.00	24

Tabla 4.2 Angulos de Paso.

Uno de los primeros pasos en la selección de un motor de pasos es la selección del ángulo de paso, esta selección depende de la aplicación que se desea. De esta forma puede lograrse el ángulo más pequeño de paso, un número grande de pasos por revolución, y la más alta resolución de posicionamientos. La resolución (número de pasos por revolución) de un motor de pasos viene determinada por el número de polos en el estator y el rotor. La característica de arranque, o característica de rotación, muestra el máximo rango de paso fijo al cual el motor

girará con una torca para diferentes valores de carga.

Conversiones de RPM a pasos por segundo: Se hace necesario convertir la información de velocidad de "RPM" a "pasos por segundo", para ello, se usan las siguientes fórmulas tabla 4.3.

RPM a Pasos por Segundo		
Angulo de paso	Pasos por revolución	Fórmula
0.72°	500	PS=RPM X 8.34
1.80°	200	PS=RPM X 3.34
2.00°	180	PS=RPM X 3.00
2.50°	144	PS=RPM X 2.40
5.00°	72	PS=RPM X 1.20
7.50°	48	PS=RPM X 0.80
15.00°	24	PS=RPM X 0.40

Tabla 4.3 RPM a pasos por segundo.

Para otros ángulos de paso, deberá emplearse la siguiente fórmula:

$$\text{Pasos por segundo} = \frac{(\text{RPM}) (\text{Pasos por rev.})}{60} \dots\dots (4.1)$$

4.4 Manejo de cargas inerciales (tiempo permitido)

Los motores de pasos no están limitados a un "momento máximo de inercia" específico, debido a su habilidad para ser acelerado y desacelerado desde cualquier velocidad dada. La inercia es una función del tiempo y la torca.

La torca requerida puede ser calculada cuando el valor total de inercia, el tiempo permitido para acelerar y desacelerar (rango de aceleración) y el ángulo de paso del motor son conocidos.

$$T_j = J \cdot \alpha \cdot K \dots\dots\dots (4.2)$$

donde:

- T_j = Torca requerida para mover la inercia [oz-pulg].
- J = Sistema total de inercia incluyendo la inercia del rotor [lb-pulg].
- α = Rango de aceleración (SPS²)
- k = Una constante usada para combinar unidades dado que el valor de la torca resulta en onzas por pulgada (véase la tabla 4.4).

(k) CONSTANTES PARA VARIOS ANGULOS DE PASO		
ANGULO DE PASO	PASOS POR REV.	CONSTANTE (k)
0.72°	500	0.524X10 ⁻³
1.80°	200	1.31X10 ⁻³
2.00°	180	1.45X10 ⁻²
2.50°	144	1.81X10 ⁻³
5.00°	72	3.63X10 ⁻³
7.50°	48	5.45X10 ⁻³
15.00°	24	10.90X10 ⁻³

Tabla 4.4 Constante para Angulos de Paso dados.

Definiendo entonces:

$$\alpha = \frac{\Delta V(\text{SPS})(\text{cambio de la velocidad})}{\Delta T(\text{SEGS})(\text{cambio en el tiempo})} \dots\dots\dots (4.3)$$

"T_J" en la fórmula es la torca requerida para mover la inercia solamente y no incluye la fricción en la torca. La fricción deberá ser sumada para obtener el requerimiento de torca total.

Por lo tanto, la selección del motor puede determinarse consultando las curvas de Velocidad-Torca y seleccionando el motor que produzca la torca total requerida al rango de velocidad y aceleración deseada.

La relación entre la velocidad y el par de un motor de pasos no es necesariamente una línea recta. Dada la naturaleza discreta de la construcción del motor de pasos, el par es también una función del ángulo entre los polos del estator y del rotor. El par motor es más grande cuando los polos están alineados. El control de un motor de pasos depende de la capacidad del sistema electrónico para efectuar la conmutación de los devanados en el momento preciso. Si los devanados se conmutan con demasiada rapidez, por ejemplo, es posible que el motor no sea capaz de adaptarse a las señales de mando y funcionará en forma errática y en algunos casos de manera oscilante. En algunos motores de pasos, la relación Velocidad-Par motor se degrada mucho en

algunas frecuencias de funcionamiento y debe evitarse que los motores funcionen a estas frecuencias.

El movimiento del rotor también se convierte en movimientos oscilatorios e inestables en ciertos rangos de velocidad. Esas desventajas pueden ser solventadas usando un control de realimentación con malla cerrada.

4.5 Motor de paso de reluctancia variable

Como ya se ha mencionado, los motores de pasos consisten en elementos especiales de la familia de los motores de corriente continua, siendo dotados de diversos bobinados como puede verse en la figura 4.5.

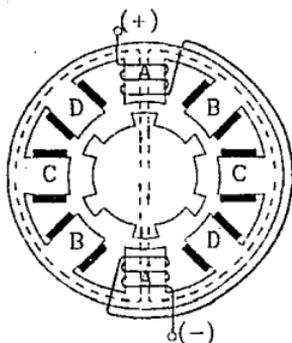


Figura 4.5 Motores de paso de reluctancia variable, cuatro fases y 8/6 polos.

El motor de reluctancia variable es el tipo básico del motor de paso. Entendiendo que la reluctancia es la oposición que ofrece un material al paso de las líneas magnéticas. La reluctancia tiene la característica adicional de que su valor para los materiales magnéticos no es constante, sino que varía con la densidad de flujo, la reluctancia de los materiales no magnéticos es constante.

Típicamente consiste de un estator de polo saliente y de un rotor de laminaciones ensamblado en una pieza. El número de polos del estator y rotor son diferentes para asegurar la capacidad de arranque por sí mismo y rotación bidireccional. Con una secuencia apropiada de pulsos puede lograrse que el eje gire en cualquier dirección y además, se ubique en lugares bien precisos, múltiplos del valor del paso.

El arrollamiento del estator consiste de un número de alambres concentrados, colocados sobre los polos del estator. No hay arrollamientos en el rotor. La figura 4.5 muestra un motor con reluctancia variable de 4 fases, con 8 polos en el estator y 6 polos en el rotor, observándose que el rotor formado por una especie de rueda dentada se ubica siempre en relación a la bobina que es energizada. En este motor se tienen intervalos de 15 grados entre las bobinas de fase, lo que significa que su paso tiene este valor. Se obtienen pasos menores mediante la utilización de más bobinas.

Los arrollamientos diametralmente opuestos a los polos del estator son conectados en serie (o en paralelo), dado que un polo del estator actúa como un polo norte y el otro como un polo sur. Hay cuatro fases A,B,C y D, dando un motor de 8/6 polos, cuatro fases.

Cuando la fase A del estator es energizado con corriente directa, se forma un campo magnético. En dicho campo, la torca es desarrollada por la tendencia del circuito magnético de adoptar la configuración de mínima reluctancia. Esta torca es independiente de la dirección de la corriente, causa al rotor un giro hasta que el par de sus polos (1 y 4) se alineen exactamente con los polos del estator de la fase A, como se observa en la figura anterior.

El rotor es estable en esta posición y no puede moverse hasta que la fase A es desenergizada; si se energiza entonces la fase B, el rotor girará en sentido de giro de las manecillas del reloj a un ángulo de paso de 15 grados hasta que los polos del rotor 3 y 6 se alineen con la fase B.

La energización de las fases C y D en secuencia causa una rotación en sentido de giro de las manecillas del reloj en dos pasos, más de 15 grados. Después la secuencia ABCDA, el rotor gira a 4 pasos o 60 grados, y por lo tanto 6 ciclos de esta secuencia son requeridos para una revolución en el rotor.

La secuencia de las fases para una rotación en sentido de giro de las manecillas del reloj es ABCDA y para una rotación en sentido contrario es ADCBA. De este modo, los pasos del rotor en oposición a la rotación por pasos del campo del estator y una revolución se completa en 24 pasos.

El motor de reluctancia de 3 fases puede tener 6 polos en el estator y 4 polos en el rotor dando un ángulo de paso de 30 grados.

Si el número de polos es doblado en el estator como en el rotor, esto da una máquina de 3 fases, 12/8 de polo y teniendo un ángulo de paso de 15 grados.

Los ángulos de paso más pequeños pueden obtenerse si la corriente de energización es gradualmente cambiada desde una fase a la siguiente en un número discreto de grados.

De este modo, si las fases A y B en la figura 4.5 son energizadas simultáneamente, el rotor se moverá a una posición media resultando en un medio paso. Una extensión lógica de esta técnica es controlar las corrientes en los arrollamientos de la fase individual dado que las posiciones de equilibrio estable son creadas.

Normalmente, el ángulo de paso es reducido por factores de 1/2, 1/5, 1/10 o 1/16. Esta técnica es conocida como micropasos.

Para calcular el valor del paso del motor se aplica la siguiente expresión:

$$p = \frac{360^\circ}{F \times n} \dots\dots\dots (4.4)$$

donde:

- p = El valor del paso en grados.
- F = El número de fases y
- n = El número de dientes del rotor.

Otra técnica para proveer los más pequeños ángulos de paso es usar un rotor con reluctancia variable. En esta configuración el motor es dividido dentro de un número de secciones aisladas magnéticamente o vueltas a lo largo de su longitud axial.

Cada vuelta corresponde a una fase y ambos estator y rotor tienen el mismo número de polos.

Una variación muy usada de motor de pasos es el llamado tipo híbrido que tiene el mismo principio del motor de reluctancia variable, difiriendo solamente en la construcción interna que lleva imanes permanentes para la producción de un campo magnético interno.

El número de dientes en el rotor y el estator determina el ángulo de paso que será desarrollado al tiempo que la polaridad en uno de los arrollamientos se cambie. La configuración de

dientes en el rotor/estator para un motor de 1.8° de paso se ilustra en la figura 4.6.

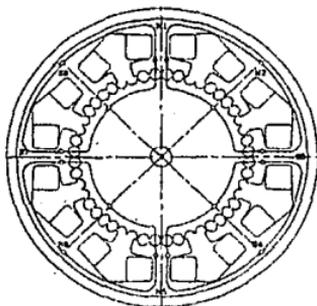


Figura 4.6 Configuración de dientes en el rotor/estator de un motor de 1.8° de paso.

4.6 Secuencia de conmutación para motores de 4 pasos

En un motor de pasos la conmutación toma lugar en un circuito externo al motor mismo. Típicamente los arrollamientos son puestos en estados de "energizado" y "desenergizado" con transistores. Para que el rotor dé el siguiente paso, se energizan los siguientes arrollamientos en orden.

Los motores de pasos SLO-SYN normalmente operan en la secuencia de 4 pasos, en cada tiempo un pulso aplicado en cada

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

arrollamiento es traducido en un paso. Después de 4 pasos, los mismos dos arrollamientos estarán en estado "on" cuando fuera comenzada la secuencia de conmutación. Para cada paso dado, el motor se mueve de uno a cuatro porciones de diente, para los 4 pasos el rotor se mueve un diente completo. Con 50 dientes en el rotor, (los tipos SS, HS y M) darán 200 pasos por revolución. El ángulo de paso es, por consiguiente, una función del número de dientes en el rotor y la secuencia de conmutación. La velocidad del motor (pasos/seg) es una función del rango de conmutación.

El diseño de motores con diferentes pasos requieren secuencias distintas de activación de los arrollamientos como se ilustra en la tabla 4.5.

Paso	INTERRUPTORES			
	S1	S2	S3	S4
P1	1	0	1	0
P2	1	0	0	1
P3	0	1	0	1
P4	0	1	1	0

Tabla 4.5 Pasos y condiciones.

donde:

"1" indica Energizado
"0" indica No Energizado

Energizando los arrollamientos en esa secuencia causará el giro del rotor en un sentido. Invertiendo la secuencia provocará el giro en la dirección opuesta. Con cualquiera de estas secuencias, si los arrollamientos permanecen energizados, el motor se detendrá. En algunos casos el tiempo durante el cual los arrollamientos son conmutados es variado lentamente para que el motor brinde una velocidad alta, y caso contrario, bajaría con lentitud. Este proceso de aceleración/desaceleración ofrece ser utilizado cuando un motor tiene una carga muy pesada.

4.7 Motor de pasos bifilar

La figura 4.7 muestra la configuración más sencilla de un motor de pasos, que se conoce como *excitación bifilar* de seis hilos, tratándose de un motor híbrido. Este tipo de motor puede ser identificado con un óhmetro, pues se observan los dos arrollamientos con una derivación central. Puesto que la mayoría de esos motores fueron producidos con un código de color convencional en los hilos se puede asegurar su identificación.

Una vez localizado el hilo común, se hace necesario identificar los otros hilos. Una prueba que se desarrolló para verificar la secuencia correcta asegurando su funcionalidad es la siguiente: se dispuso el motor como el indicado en la figura 4.7, ajustando una fuente de voltaje a 5V. Los interruptores S1 a S4 son simplemente alambres que realizan la función de conmutación y

la resistencia de 20 ohm es usada para prevenir un sobrecalentamiento del motor cuando se está frenando. Se aplican los pulsos en la secuencia descrita y colocando una pieza de papel en la flecha del motor se auxilia en la observación del giro del rotor.

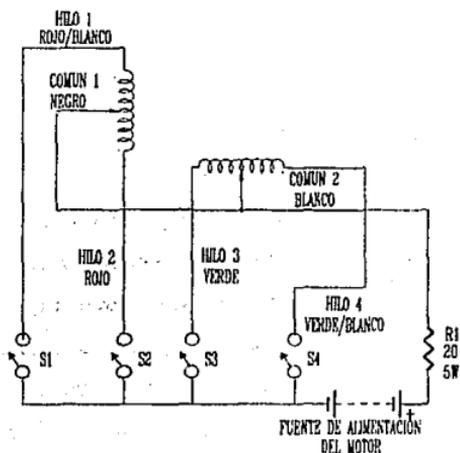


Figura 4.7 Motor de pasos con dos arrollamientos con derivación central.

Un motor de pasos bifilar contiene el doble de arrollamientos tipo 3 terminales. La figura 4.8 muestra la característica Velocidad-Torca en donde se observa que un motor bifilar proporciona hasta 75 pasos más por segundo que un motor

standard en un rango de torca de aproximadamente 30 a 110 oz-pulg.

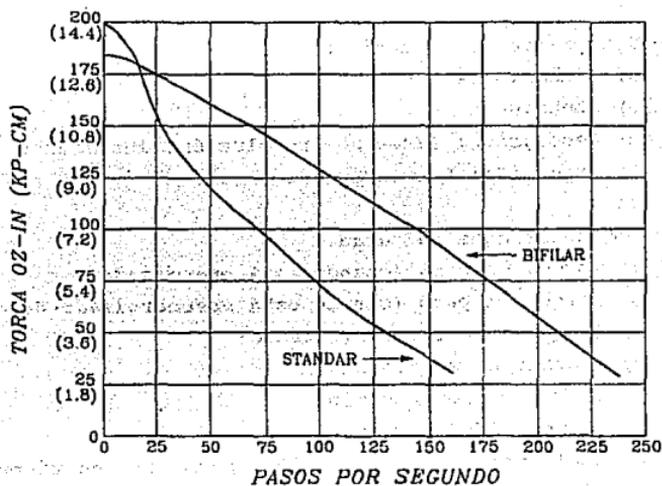


Figura 4.8 Característica Velocidad-Torca (Comparación entre un motor bifilar y un estándar).

El uso de motores de pasos bifilar simplifica la lógica de conmutación y sólo se requiere de una fuente de alimentación.

4.8 Información requerida para seleccionar un motor de pasos

Para seleccionar un motor de pasos deben tomarse en cuenta los siguientes puntos:

- 1.- Definición concreta de la aplicación.
- 2.- Requerimientos mecánicos.
 - a) Dimensiones
 - b) Montaje
 - c) Resolución: Pasos por revolución, incremento lineal
 - d) Precisión: Porcentaje de error.
- 3.- Requerimientos de carga
 - a) Torque en paro (cuando está energizado)
 - b) Torque en paro (cuando está desenergizado-detenido)
 - c) Torque a velocidad (girando)
 - d) Distancia vs. tiempo
 1. velocidad promedio
 2. velocidad máxima
 - e) Aceleración/desaceleración (permitida en tiempo)
 - f) Tiempo de respuesta por paso
- 4.- Descripción del *drive* electrónico (tipo de *drive*)
- 5.- Transferencia-conversión- de pulsos en pasos
 - b) Especificaciones del Fabricante
 - c) Diseño del *drive*
 1. Unipolar L/R
 2. Bipolar L/R
 3. Dos niveles
 4. Reactivo
 - d) Corriente constante

- e) Fuente de Alimentación
 - 1. Entrada de AC
 - 2. Voltaje de DC
 - 3. Corriente de DC
- f) Lógica de control del Drive
 - 1. Características de los pulsos de entrada
 - 2. Paso completo o medio paso

Para seleccionar un motor de pasos la siguiente información debe ser determinada.

- a) Velocidad de operación en pasos por segundo
- b) Angulo de paso requerido
- c) Tiempo de aceleración en ms
- d) Tiempo de desaceleración en ms
- e) Tipo de drive a utilizarse
- f) Consideraciones de las dimensiones del motor
- g) torca [oz-in]

Una vez que esta información es conocida, la mejor combinación de motor y drive puede ser determinada usando las curvas de Velocidad vs. Torca. Las fórmulas que se dan a continuación:

1. Torca:

$$\text{Torca [oz-in]} = Fr \dots \dots \dots (4.5)$$

Donde

- F = Fuerza (en onzas) requerida para manejar la carga
- r = radio (en pulgadas)

2. Momento de Inercia

$$I \text{ (lb-pulg } g^2) = \frac{Wr}{2} \text{ para un disco (4.6)}$$

$$I \text{ (lb-pulg}^2) = \frac{W}{2} (r_1^2 + r_2^2) \text{ para un cilindro.. (4.7)}$$

Donde:

W = Peso en libras

r = Radio en pulgadas

3. Inercia Equivalente. Un motor puede ser capaz de:

- Controlar cualquier carga friccional en el sistema
- Arrancar y detener todas las cargas inerciales incluyendo el rotor

Las relaciones básicas de rotación son las siguientes:

$$T = \alpha I \text{ (4.8)}$$

Donde

T = torca [oz-pulg]

I = momento de inercia [lb-pulg²]

α = aceleración angular [rad/seg²]

La aceleración angular (α) es una función del cambio en la velocidad (ω) y el tiempo requerido para el cambio.

$$\alpha = \frac{(\omega_2 - \omega_1)}{t} \text{ (5.9)}$$

O si se comienza desde cero:

$$\alpha = \frac{\omega}{t} \text{ (5.10)}$$

Donde:

ω = velocidad [rad/seg]

t = segs

$$\omega = \frac{2\pi \text{ (pasos por seg)}}{\text{pasos por revolución}} \dots\dots\dots (4.11)$$

La velocidad angular y la aceleración angular puede también ser expresadas en pasos por seg y pasos por seg² respectivamente.

SELECCION DEL DRIVE: Es conveniente seguir los procedimientos listados abajo para seleccionar el motor y drive adecuados.

- a) Seleccionar el ángulo de paso para proveer la resolución lineal deseada.
- b) Seleccionar el tipo de Drive.
- c) Seleccionar el drive específico que provee el rango de velocidad requerido.
- d) Consultar las referencias que proporcionen las curvas de Velocidad-Torca para motores.
- e) Seleccionar el motor que proporcione el ángulo de paso y torca necesarios.

El elemento más importante para controlar un motor de pasos es el sistema de drive. El drive determina las características de funcionamiento de un motor de pasos dado. Los parámetros como la velocidad, torca a velocidad, tiempo para un paso simple, pueden ser controlados por un drive electrónico.

A continuación se describen los tipos de drives utilizados para el control de los motores de pasos:

L/R UNIPOLAR: En el tipo de control más simple se considera sólo una fuente de alimentación, la secuencia lógica de los arrollamientos y resistencias en serie entre el drive y el motor que provee buen funcionamiento a 2000 pasos por segundo.

L/R BIPOLAR: Requiere dos fuentes de alimentación de igual capacidad de corriente. Provee buen funcionamiento a velocidad intermedia. Energiza todos los arrollamientos continuamente para lograr un 30% o 40% más sobre los tipo L/R unipolar de torca en baja velocidad.

Dos Niveles: Utiliza dos fuentes de alimentación para proveer un incremento de corriente al comienzo del paso y sostiene la corriente durante el movimiento total; útil para lograr movimiento rápido y buen funcionamiento a velocidad intermedia.

Reactivo: Un drive reactivo usa un choke en la entrada de la fuente de alimentación. Esto permite al voltaje incrementarse conforme al incremento del rango de paso y no se requiere un resistor en serie. Provee buen funcionamiento, es más caro que los de tipo L/R pero más eficiente.

Los traductores de SLO-SYN son una interfaz entre un pulso y el motor de pasos. Contienen la lógica para convertir o "transformar" información digital en una rotación de la flecha del motor. El motor se moverá un paso con cada pulso recibido por el traductor. La fuente que provee el número deseado de pulsos o un rango específico, los traduce en distancia y velocidad. La siguiente figura muestra el concepto.

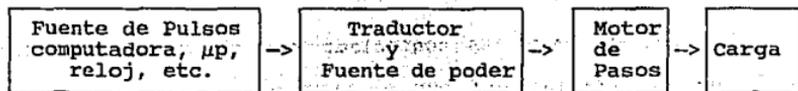


Figura 4.9 Sistema de Drive Traductor

4.9 Aplicaciones

En particular, algunos dispositivos existentes en el mercado tienen adaptado el motor de paso como una solución costo-efectivo para uso en impresores en serie, plotters X-Y y para posicionamiento de cabezas magnéticas en drives para floppy disk.

Los motores de paso son también ampliamente usados en controles numéricos para herramientas mecánicas, en sistemas de microfilm, equipo de rayos X, en analizadores de sangre, y en gran variedad de aplicaciones industriales.

4.10 Diseño de la etapa de desplazamiento

El motor de pasos es controlado por el microprocesador a través de la *interfaz* PPI por el puerto C, el microprocesador podrá mandar una serie de pulsos para desplazar el motor un determinado número de grados que se traducirá en un desplazamiento lineal para la muestra. Debido a que la corriente del sistema de control es pequeña para el funcionamiento del motor, ésta es amplificada mediante una serie de transistores. Entre la *interfaz* y la etapa de amplificación están colocados opto-acopladores para evitar daños al sistema. En el Capítulo Seis se describe de manera más detallada la programación para accionar el motor de pasos.

En la figura 4.10 se muestra el diagrama de bloques de la etapa de acondicionamiento del motor de pasos antes mencionado.

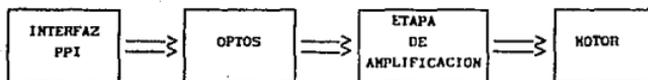


Figura 4.10 Etapa de acondicionamiento del motor de pasos.

Las características eléctricas del motor de pasos a controlar son: 5V de DC a 1 Ampere, de cuatro fases y un ángulo de paso de 1.8 grados.

Nuestra tarjeta controladora es simplemente una interfaz entre el μp y el motor. El μp ejecuta las instrucciones necesarias para enviar a través de un puerto paralelo la secuencia deseada de pulsos (este proceso se describe con detalle en el Capítulo 6).

La tarjeta controla cada devanado del motor basado en el dato presente a la salida del puerto paralelo del μp . Puesto que se trata de un puerto paralelo, se envían 8 bits al mismo tiempo pero se toman sólo 4 de esas líneas y se asignan una a cada fase.

En la figura 4.11 se muestra el diagrama esquemático de la tarjeta de control. Las secciones de que consta la tarjeta son tres, la de optoacoplamiento para mejorar el funcionamiento, pues provee al puerto con un aislamiento eléctrico, evitando que cualquier tipo de interferencia causada por el motor no se refleje hacia el μp . La segunda, que es la sección preamplificadora que utiliza un transistor de potencia Q1 y emplea resistencias limitadoras para evitar la saturación con R3 y R4, pues sólo se trata de un preamplificador. En la tercera que es la de potencia, en donde se emplean dos transistores de potencia en configuración cascodo, Q2 y Q3: TIP 31 y TIP 41 con una β de 50 y 75 respectivamente, Q2 establece inicialmente el flujo de corriente cerrándose la malla a través de Q3. Se conectó un diodo en paralelo con cada con cada fase para proteger el transistor de Q2.

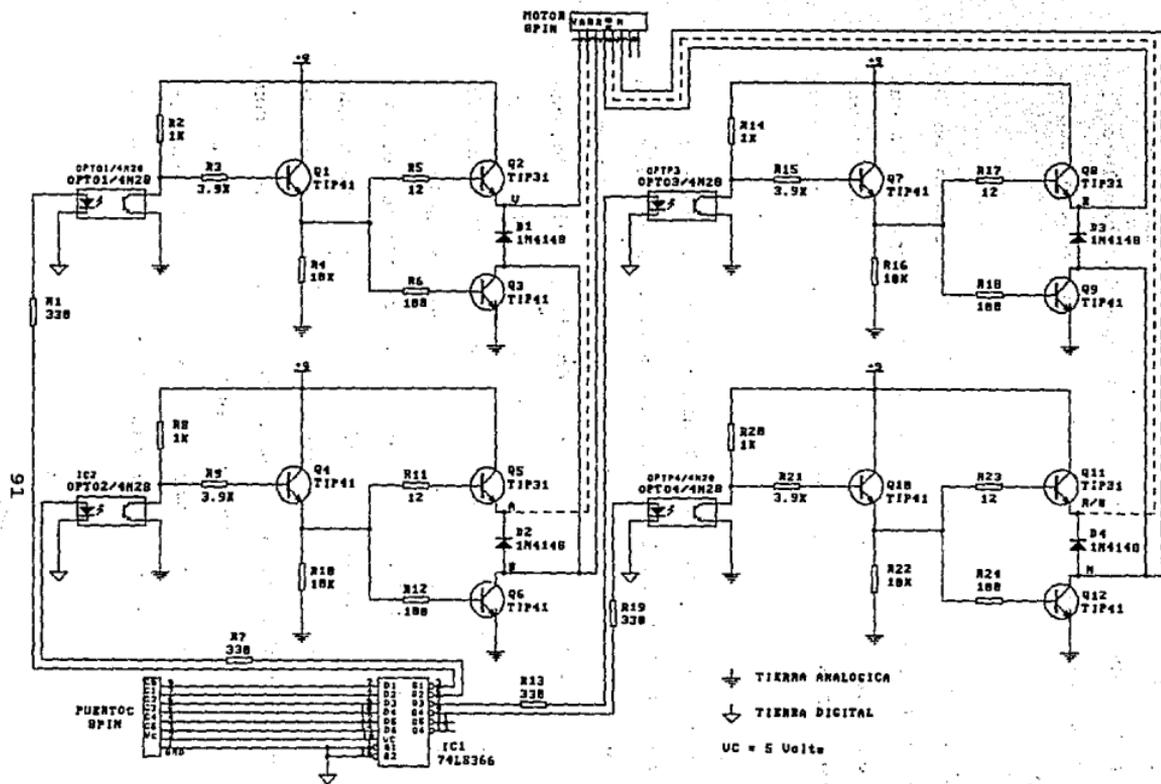


Figura 4.11 Diagrama Esquemático de la tarjeta de control de la etapa de desplazamiento.

Los niveles altos aplicados en las bases de los optotransistores corresponden a niveles bajos en las entradas correspondientes a los preamplificadores, éstos se traducen hasta la etapa de potencia, que estará desactivada bajo esta condición.

Para este circuito controlador, el nivel bajo corresponde a una tensión que debe quedar en menos de 1V, aproximadamente 0.6 V y a partir de 2.8 V hay un estado de conducción en el que se activa la etapa de potencia permitiendo el flujo de corriente por una de las fases del motor.

Con este arreglo de transistores en la etapa de potencia se permite el control de motores de hasta 2 o 3 amperes.

Se diseñó el impreso de la tarjeta de la etapa de desplazamiento con las siguientes características: es una tarjeta de dos caras, es decir, existen pistas de cobre en ambos lados; los orificios comunican a ambos lados, esto tiene como ventaja eliminar falsos en el impreso. Para su realización se utilizó el paquete de programación TANGO. En la figura 4.13 se muestra la cara de soldadura del impreso y en la figura 4.14 la cara de componentes. En la figura 4.12 se ilustra el grabado de los componentes de la tarjeta impresa, conocido como overlay.

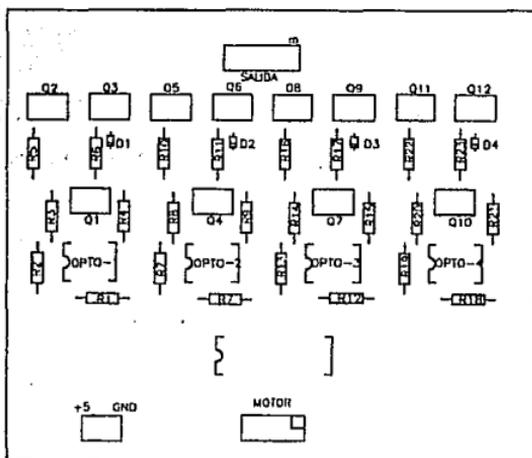


Figura 4.12 Grabado de los componentes de la tarjeta impresa.

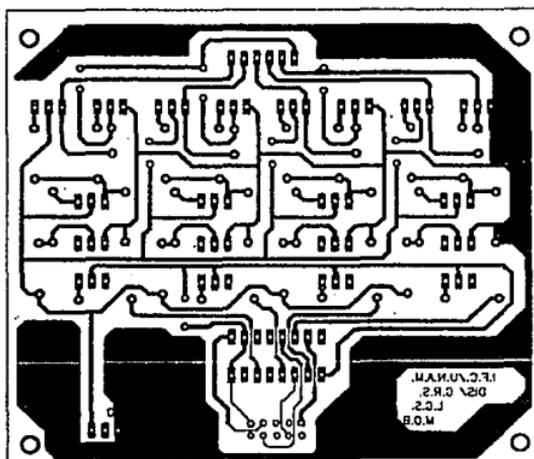


Figura 4.13 La cara de soldadura del circuito impreso.

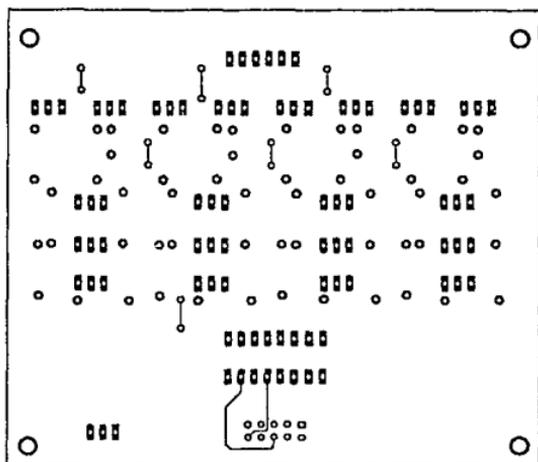


Figura 4.14 La cara de componentes del circuito impreso.

La fuente de alimentación utilizada para suministrar energía a la etapa de potencia del motor de pasos es totalmente independiente de la fuente de alimentación utilizada para el sistema en general, esto es para separar la etapa de potencia de la etapa de control del sistema.

Las características más importantes de la fuente de alimentación son: voltaje 5V de DC a 5 Amperes.

CAPITULO 5

SISTEMA DE ADQUISICION

SISTEMA DE ADQUISICION

5.1 Etapa de adquisición

El registro de la temperatura en el interior del contenedor de nitrógeno líquido se realiza por medio de un termopar tipo T (cobre-constantan), con un rango de operación de 200 C° a -600°C, que presenta niveles de voltaje de D.C. aproximadamente de 9mV. Esta señal pasa por un amplificador de instrumentación con ganancia variable de hasta diez, evitando con ello la amplificación de señales de modo común. A continuación la señal es acoplada con un amplificador en configuración seguidor, y posteriormente filtrado, con un filtro paso bajas a una frecuencia de corte de 1 Hz. Al final de esta etapa se tienen niveles típicos de conversión A/D (0 a 5 volts). Finalmente la señal se introduce al convertidor A/D de 12 bits, conectando éste a la tarjeta de control a través del bus de datos y de algunas líneas de control del sistema, la información colectada se registra y después se procesa. En la figura 5.1 se muestra el diagrama de bloques de la etapa anteriormente descrita.

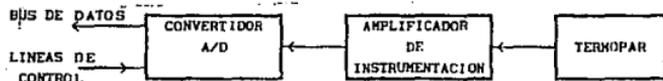


Figura 5.1 Etapa de sensado, amplificación y conversión.

5.2 Parámetros de diseño

La señal generada por el termopar tipo T produce niveles de voltaje de D.C. de acuerdo a la temperatura sensada por él mismo. Los niveles de voltajes que presenta el termopar son bajos, del orden de 0 volts a 9 milivolts a la temperatura del nitrógeno líquido. Por lo cual es necesario amplificar la señal para que alcance al final de esta etapa de adquisición niveles típicos de conversión A/D (0 a 5 volts).

La señal procedente del termopar se hace pasar por un preamplificador que presenta la característica de alto rechazo a las señales de modo común y bajo voltaje de *offset*. Por estas razones, el diseño de esta etapa se basa en un amplificador de instrumentación. A continuación se mencionan las características que debe presentar la etapa de amplificación:

- o Entrada diferencial, salida única.
- o Acoplado en D.C.
- o Alto RRMC (razón de rechazo en modo común)
- o Alta impedancia de entrada
- o Baja impedancia de salida
- o Amplificación de señales pequeñas

En la figura 5.2 se ilustra el amplificador de instrumentación utilizado.

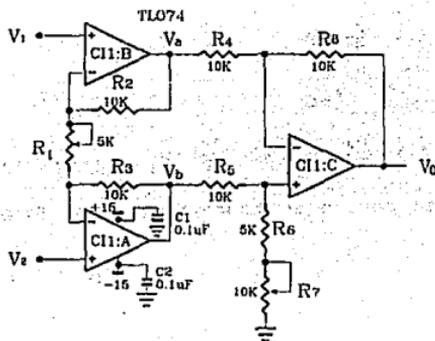


Figura 5.2 Amplificador de instrumentación.

Los voltajes a la salida de los amplificadores CI1:B y CI1:A se calculan por el método de superposición, a continuación se hace el desarrollo.

Por superposición $V_1 \neq 0$; $V_2 = 0$

$$V_{a1} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) V_1 \dots\dots\dots (5.1)$$

$$V_{b1} = - \frac{R_3}{R_1} V_1 \dots\dots\dots (5.2)$$

Ahora $V_1 = 0$; $V_2 \neq 0$

$$V_{b2} = \left(1 + \frac{R_3}{R_1} \right) V_2 \dots\dots\dots (5.3)$$

$$V_{a2} = - \frac{R_2}{R_1} V_2 \dots\dots\dots (5.4)$$

Los voltajes a la salida de los amplificadores CI1:B y CI1:A son:

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} \dots\dots\dots (5.5)$$

$$V_a = (1 + \frac{R_2}{R_1}) V_1 - \frac{R_2}{R_1} V_2 \dots\dots\dots (5.6)$$

$$V_b = V_{b1} + V_{b2} \dots\dots\dots (5.7)$$

$$V_b = (1 + \frac{R_3}{R_1}) V_2 - \frac{R_3}{R_1} V_1 \dots\dots\dots (5.8)$$

La diferencia de los voltajes $V_a - V_b$ si $R_2 = R_3$ es:

$$V_b - V_a = (1 + \frac{R_2}{R_1}) V_2 - \frac{R_2}{R_1} V_1 - (1 + \frac{R_2}{R_1}) V_1 + \frac{R_2}{R_1} V_2 \dots\dots (5.9)$$

$$V_b - V_a = (\frac{R_1 + R_2}{R_1}) V_2 + \frac{R_2}{R_1} V_2 - (\frac{R_1 + R_2}{R_1}) V_1 - \frac{R_2}{R_1} V_1 \dots\dots (5.10)$$

$$V_b - V_a = (\frac{R_1 + 2R_2}{R_1}) (V_2 - V_1) \dots\dots\dots (5.11)$$

En la figura 5.3 se muestra la configuración diferencial usada en el amplificador de instrumentación.

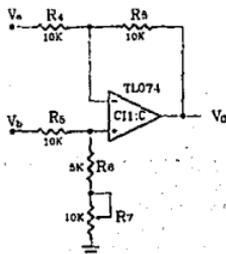


Figura 5.3 Amplificador diferencial.

El voltaje de salida V_o de la etapa diferencial del amplificador de instrumentación se calcula utilizando el método de superposición, se obtienen las siguientes ecuaciones:

Cuando $V_a \neq 0$; $V_b = 0$

$$V_x = \frac{R_6}{R_4 + R_6} V_a \dots\dots\dots (5.12)$$

$$V_{o1} = \left(1 + \frac{R_8}{R_5} \right) V_x \dots\dots\dots (5.13)$$

$$V_{o1} = \left(\frac{R_5 + R_8}{R_5} \right) \left(\frac{R_6}{R_4 + R_6} \right) V_a \dots\dots\dots (5.14)$$

$$V_{o1} = \frac{R_6}{R_5} \left(\frac{R_5 + R_8}{R_4 + R_6} \right) V_a \dots\dots\dots (5.15)$$

Ahora cuando $V_b \neq 0$; $V_a = 0$.

$$V_{o2} = - \frac{R_8}{R_4} V_b \dots\dots\dots (5.16)$$

$$V_o = V_{o1} + V_{o2} \dots\dots\dots (5.17)$$

$$V_o = \frac{R_6}{R_5} \left(\frac{R_5 + R_8}{R_4 + R_6} \right) V_a - \frac{R_8}{R_4} V_b \dots\dots\dots (5.18)$$

Si $R_4 = R_5$; $R_8 = R_6$

$$V_o = \frac{R_6}{R_4} (V_a - V_b) \dots\dots\dots (5.19)$$

Sustituyendo la ecuación (5.11) en la (5.19)
obteniéndose:

$$V_o = \frac{R_6}{R_4} \left(\frac{R_1 + 2R_2}{R_1} \right) (V_1 - V_2) \dots\dots\dots (5.20)$$

La ganancia a la salida del amplificador de instrumentación en modo diferencial es:

$$A = \frac{R_3}{R_4} \left(\frac{R_1 + 2R_2}{R_1} \right) \dots \dots \dots (5.21)$$

Obsérvese la figura 5.2, los dos amplificadores de entrada constituyen un amplificador separador diferencial cuyos voltajes a la salida de cada uno se expresa en las ecuaciones (5.6) y (5.8) para modo diferencial.

La configuración no inversora de estos amplificadores de entrada asegura una elevada impedancia en ambas entradas. La resistencia R_3 es igual a R_2 , aunque los efectos de la falta de igualdad en las resistencias R_2 y R_3 son simplemente la creación de un error de ganancia sin afectar el rechazo de modo común del circuito. Las resistencias R_4 , R_5 , R_6 y R_8 del amplificador de salida están igualadas con precisión para asegurar en este punto el rechazo de las señales de modo común.

El amplificador de instrumentación, como se observa en la figura 5.5, tiene una ganancia variable, teniéndose ganancias de hasta 10, sin excederla evitando amplificar señales de modo común.

Esta señal acoplada con un seguidor, se introduce a un filtro *Butterworth* de segundo orden, paso-bajas con respuesta plana a -3dB, con una frecuencia de corte de 1 Hz, dejando pasar

solo D.C., evitando así interferencia de la línea a 60 Hz y ruido de alta frecuencia, asegurando también que la señal se presenta sin oscilaciones debido al cancelamiento de armónicas. El diseño del filtro paso-bajas a 1 Hz se configuró con un filtro activo y se basa en un amplificador operacional, para una ganancia unitaria de D.C.

El circuito del amplificador operacional es básicamente un seguidor de voltaje (amplificador de ganancia unitaria), el voltaje a través de C_4 es igual al voltaje de salida de este circuito.

En la figura 5.4 se ilustra un circuito fuente de voltaje controlada por voltaje (VCVS) el cual realiza la función de filtro paso bajas.

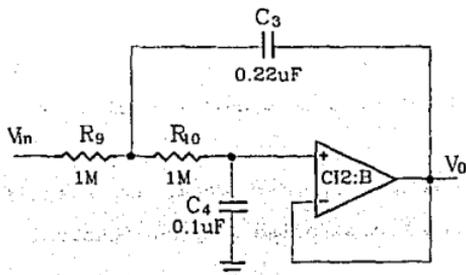


Figura 5.4 Filtro paso bajas.

La función de transferencia es la siguiente:

$$\frac{V_o(s)}{V_{in}(s)} = \frac{\frac{K}{R_9 R_{10} C_7 C_6}}{s^2 + s \left(\frac{1}{R_9 C_7} + \frac{1}{R_{10} C_7} + \frac{1+K}{R_{10} C_6} \right) + \frac{1}{R_9 R_{10} C_7 C_6}} \dots (5.22)$$

Y considerando los parámetros de la red:

$$H_0 = K$$

$$\omega_0 = \left(\frac{1}{R_9 R_{10} C_7 C_6} \right)^{1/2}$$

$$\alpha = \left(\frac{R_{10} C_6}{R_9 C_7} \right)^{1/2} + \left(\frac{R_9 C_6}{R_{10} C_7} \right)^{1/2} + (1-K) \left(\frac{R_9 C_7}{R_{10} C_6} \right)^{1/2}$$

Puede realizarse la sintonía sobre amplios rangos sin requerir la interacción con los parámetros de la red (ω_0). Si se ajustan R_9 y R_{10} en igual porcentaje, podrá sintonizarse (ω_0) sin afectarla. Por último alfa se ajusta con el ajuste de K .

El diseño del filtro paso bajas es simplificado en gran medida al hacer las resistencias R_9 y R_{10} iguales.

La respuesta en frecuencia del filtro paso bajas se muestra en la gráfica de la figura 5.5 en donde se observa que la frecuencia de corte se encuentra en 1.1 Hz aproximadamente.

Respuesta del Filtro Paso Bajas @ 1 Hz

Temperatura=27

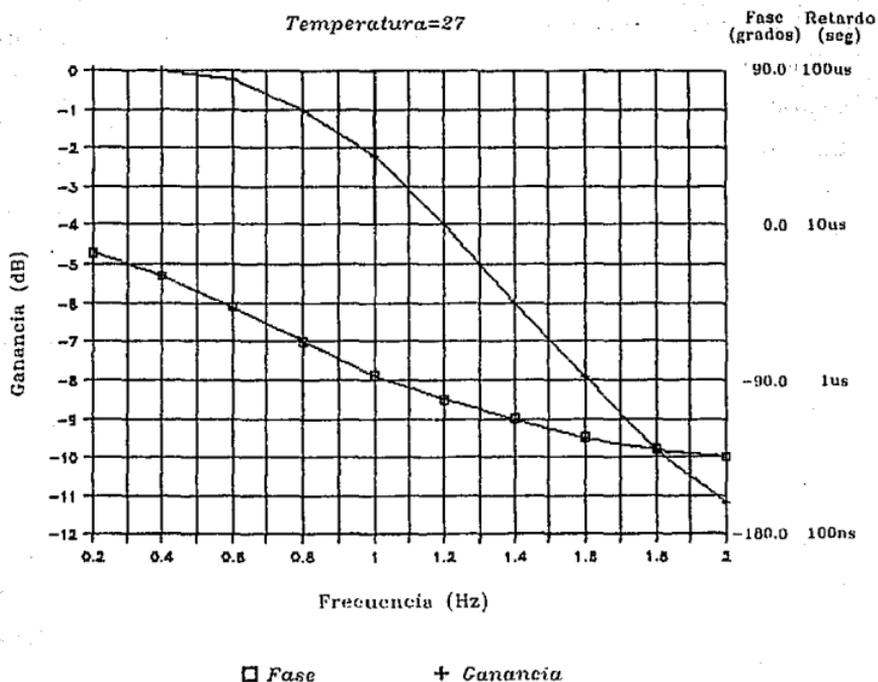


Figura 5.5 Respuesta del filtro paso bajas de un 1Hz.

Una vez filtrada la señal, se acopla nuevamente con un seguidor y se hace pasar por un amplificador operacional configuración inversora CI3:A (figura 5.6), que da la ganancia requerida para adecuar la señal al nivel de conversión A/D deseado; esto es, si la ganancia en el amplificador de instrumentación es 10, la ganancia dada en esta última sección es 50, de este modo se tiene una salida de 0 a 4.5 volts, que es introducida al convertidor A/D.

Finalmente, esta salida se introduce por un ajuste de *offset*, el cual fue producido por las secciones anteriores (amplificación y filtraje), configurado con el circuito CI3:B (figura 5.6) de ganancia unitaria.

El ajuste de *offset* se configuró después del amplificador y filtro para tener un ajuste único, compensando la suma del *offset* generado por ambos circuitos. La última sección que proporciona la ganancia de 50, se hizo independiente de la compensación, ya que esto permite tener un ajuste fino de ganancia, teniendo niveles de casi cero ruido que son amplificados 500 veces y por consiguiente generándose cerca de 1 mV a la salida que representa una magnitud despreciable comparados con los 4.5V máximos recuperados de la señal de interés. En la figura 5.6 se muestra el diagrama esquemático completo de la etapa de adquisición.

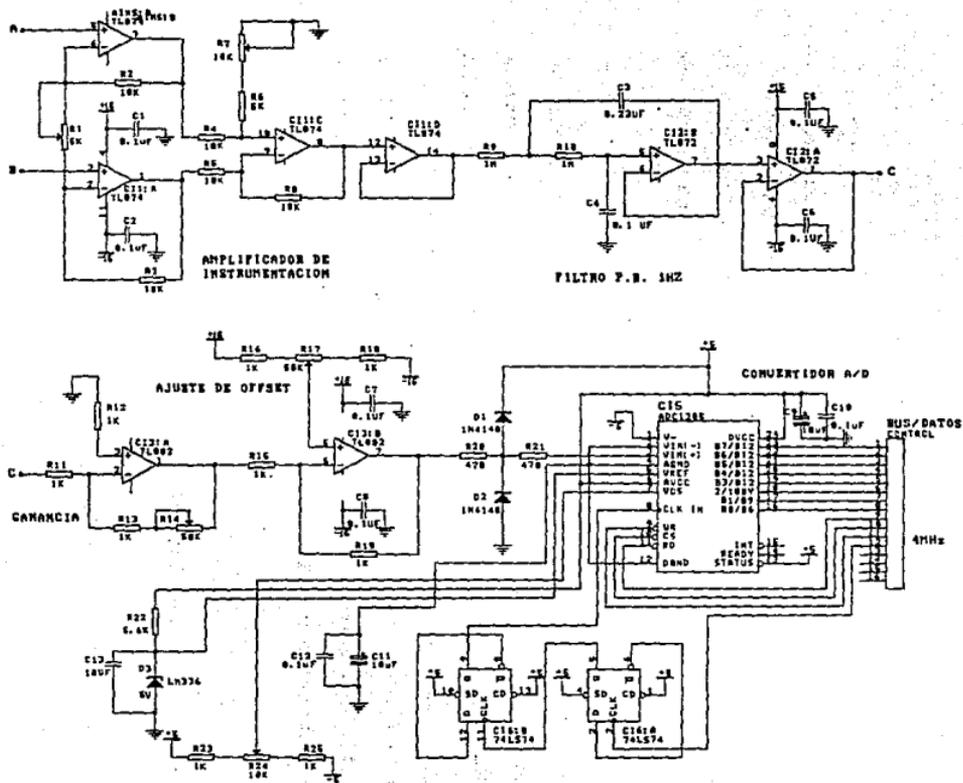


Figura 5.6 Diagrama electrónico de la etapa de adquisición.

5.3 Calibración del amplificador de instrumentación

Con el fin de tener una buena operación del amplificador de instrumentación, es necesario calibrarlo. Para realizar el ajuste de modo común se introdujo una señal senoidal de 10 Vpp a 60 Hz en modo común, moviendo el potenciómetro R7 se obtuvo a la salida 1 mVpp. Posteriormente se procedió a ajustar una ganancia de 10 para modo diferencial, para esto fue introducida una señal en modo diferencial de 1 Vpp y moviendo el potenciómetro R1 a la salida se obtuvieron 10 Vpp. Con esto se logró una Razón de Rechazo en Modo Común (RRMC) de 90 dB.

Una vez que la señal se acopla a través de un seguidor al filtro paso bajas sintonizado a 1 Hz, en este punto se obtiene entonces una señal de D.C. la cual se acopla mediante un seguidor a un amplificador cuya ganancia es de 50, ajustable mediante R18. Por último, esta señal se hace pasar por un ajuste de nivel de D.C., logrando con esto tener el ajuste a cero para una entrada nula, dicho ajuste se realiza mediante el potenciómetro R14.

5.4 Conversión analógico digital

La señal proveniente de la etapa de instrumentación es una señal de D.C. y es introducida a un convertidor analógico-digital (ADC1205) de 12 bits, para digitalizar la información y posteriormente ser procesado por el sistema de control. En la

elección del convertidor se consideró, principalmente, el rango de temperaturas a sensar y la necesidades de manejar tasas de enfriamiento pequeñas. El rango de temperaturas es de 50°C a -196°C y las tasas de enfriamiento son del orden de 0.1 C/min.

El ADC1205 utiliza el método de conversión de aproximaciones sucesivas y sus características son las siguientes:

- Es compatible con todos los microprocesadores.
- Maneja un rango de voltaje analógico de 0 a 5V con una fuente de suministro de 5V.
- Compatible con entradas y salidas TTL/MOS.
- Bajo consumo (25 mW max).
- Tiempo de conversión $\pm 100\mu s$.
- Error de linealidad ± 0.5 LSB y ± 1 LSB.

El convertidor trabaja a una frecuencia de 1MHz y debe transcurrir 109 ciclos de reloj para tener lista la conversión. El resultado de la conversión se presenta en 2 bytes.

En la figura 5.6 se presenta el diagrama completo de la etapa de Adquisición.

5.5 Calibración del convertidor A/D

La calibración se realizó de acuerdo a los datos proporcionados en las hojas de especificaciones del convertidor ADC1205 (apéndice B).

El convertidor se configuró como se indica en el diagrama esquemático de apéndice B, y que aparece en el diagrama completo de la etapa de adquisición, figura 5.6. En él se puede observar que tiene un voltaje de referencia de 5 volt. proporcionado por el diodo zener de precisión D3(LM336) y una resistencia R22. El ajuste a cero del convertidor lo proporciona una configuración divisor formado por las resistencias R23, R24 y R25, con dicho arreglo se obtiene una excursión simétrica de voltaje de 0.5 volt.

considerando que en la resolución del convertidor es de 12 bits, se tienen 4096 códigos de salida, por lo que el valor del bit menos significativo (LSB) es $(1/4096) \cdot V_{ref}$. Para este propósito, se introdujo un nivel de D.C. a través de las resistencias R20 y R21 de 0.61 mV (equivalentes a 1/2 LSB para un voltaje de referencia de $V_{ref} = 5$ volts), dado que el error de cero es la diferencia entre la entrada de voltaje D.C., necesaria para provocar una transición del código a la salida desde todos ceros hasta 0,0000,0000,0001.

Se introdujeron 0.61 mV de D.C. a $V_{in}(+)$ y $V_{in}(-)$ se conectó a tierra. El potenciómetro R24 se ajustó hasta que los cambios en la salida del código digital fueron desde todos ceros hasta 0,0000,0000,0001. El voltaje V_{os} oscila entre 80 y 90 mV.

5.6 Descripción funcional

Para dar inicio a la conversión, el microprocesador generará las siguientes señales: por el bus de direcciones mandará la dirección para habilitar al decodificador, el cual a su vez, por una de sus terminales generará la señal, que active al convertidor a través de su terminal \overline{CS} , simultáneamente el μp genera la señal de \overline{WR} para iniciar la conversión, para obtener el primer dato tendrán que pasar 109 ciclos de reloj, inmediatamente después activar \overline{RD} y \overline{CS} , para recuperar el primer byte más significativo (MSB); el segundo ciclo de lectura cumple las mismas condiciones de líneas habilitadas recuperando el segundo byte menos significativo (LSB).

Los 4 bits menos significativos del MSB son la parte más significativa de los 12 bits que componen el dato convertido y los 4 bits más significativos de este byte permanecen en nivel bajo. En el capítulo siete, se describe la programación para llevar a cabo el proceso de conversión.

En la siguiente figura 5.7 se puede observar con mayor claridad la forma en que se manejan los datos de la conversión realizada, donde la " S " indica el signo del dato si, $S = 0$ se trata de un dato positivo, y si $S = 1$, el dato es negativo.

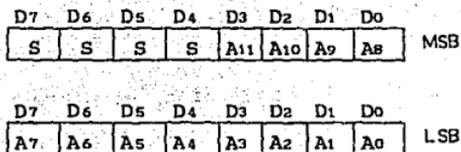


Figura 5.7 Manejo de los datos de conversión.

Para el mejor funcionamiento de la etapa de adquisición se diseñó la tarjeta impresa con las siguientes características: es una tarjeta de dos caras con tecnología *through-hole*, esto es, tanto en el lado de componentes como en el lado de soldadura existen pistas, los orificios para los diferentes dispositivos están comunicados por las caras. El impreso tiene grabado en su lado de componentes, los empaques de los dispositivos ocupados en el diseño. En Las figuras 5.9 y 5.10, se muestran los circuitos impresos correspondientes al lado de soldadura y componentes respectivamente. En la figura 5.8 se ilustra el overlay del impreso.

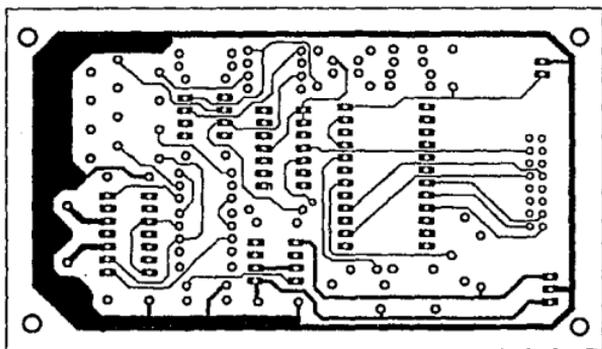


Figura 5.10 Cara de componentes del impreso de la etapa de adquisición.

La tarjeta de la etapa de adquisición se alimenta con los siguientes voltajes; +15, -15, +5 y -5 volts, estos voltajes se obtienen de la fuente de alimentación general, que también suministra energía la tarjeta de control y a., la tarjeta de desplazamiento en su etapa de optoacoplamiento.

En la figura 5.11 se muestra el diagrama esquemático de la fuente de alimentación utilizada por el sistema de criopreservación.

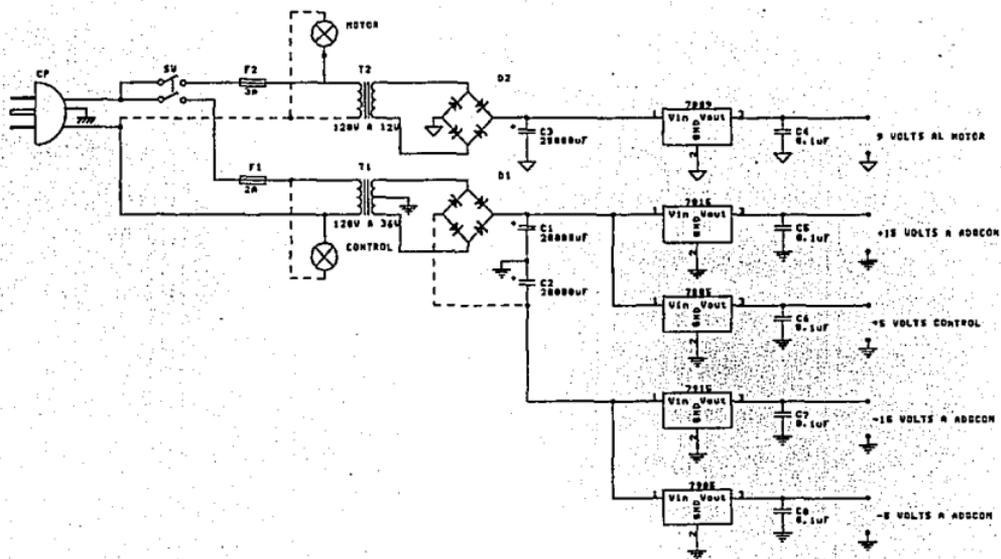


Figura 5.11 Diagrama esquemático de la fuente de alimentación.

CAPITULO 6
SISTEMA DE CONTROL DEL
CRIOCONSERVADOR

SISTEMA DE CONTROL DEL CRIOCONSERVADOR

6.1 Descripción del sistema de control

El sistema de control del crioconservador se basa en una tarjeta que contiene como elemento principal un microprocesador de Zilog Inc. Z80A, ya que con este circuito se cumple el objetivo planteado que es el proceso de congelamiento de las amibas. Para poder llevar a cabo dicho proceso, es necesario que el usuario, mediante un teclado, introduzca al sistema los siguientes datos: la tasa de enfriamiento, la temperatura crítica y la temperatura de inicio para el control de enfriamiento.

El sistema es capaz de desplegar la información dada por el usuario en un conjunto de *displays*, además de indicar los pasos a seguir para acceder dicha información, esto se hará con la ayuda de un circuito integrado que es el CTD-8279 (INTERFAZ TECLADO/DISPLAY PROGRAMABLE), en el apéndice B se describe en forma extensa este circuito.

El sistema recibirá el dato de la temperatura registrada por el termopar, que antes debe pasar por un amplificador de instrumentación, después por una etapa de acoplamiento de la señal y posteriormente se pasará por una etapa de conversión analógica a digital para poder procesar dicha información.

La tarjeta de control también tendrá una salida para activar al motor de pasos que desplazará la muestra hacia el interior del recipiente, donde está contenido el nitrógeno líquido; como ya se mencionó, el desplazamiento del motor dependerá de la tasa de enfriamiento proporcionada por el usuario. El desplazamiento del motor podrá ser modificado por el sistema si el gradiente de temperatura registrado por el mismo es mayor al que se encuentra en una localidad de memoria.

El sistema completo consta de las siguientes etapas: la de desplazamiento del motor de pasos, que tiene como función recibir, acoplar y amplificar los pulsos mandados por la tarjeta de control; la de adquisición, que tiene como objetivo el sensado y la conversión analógica a digital de la temperatura registrada en el interior del contenedor de nitrógeno líquido por medio de un termopar tipo T; y la de control que cuenta con tres tarjetas: una que contiene el teclado, otra que consta de un conjunto de *displays* y la principal que es la de control descrita en este capítulo.

En la figura 6.1 se muestra el diagrama de bloques del sistema completo del Crioconservador.

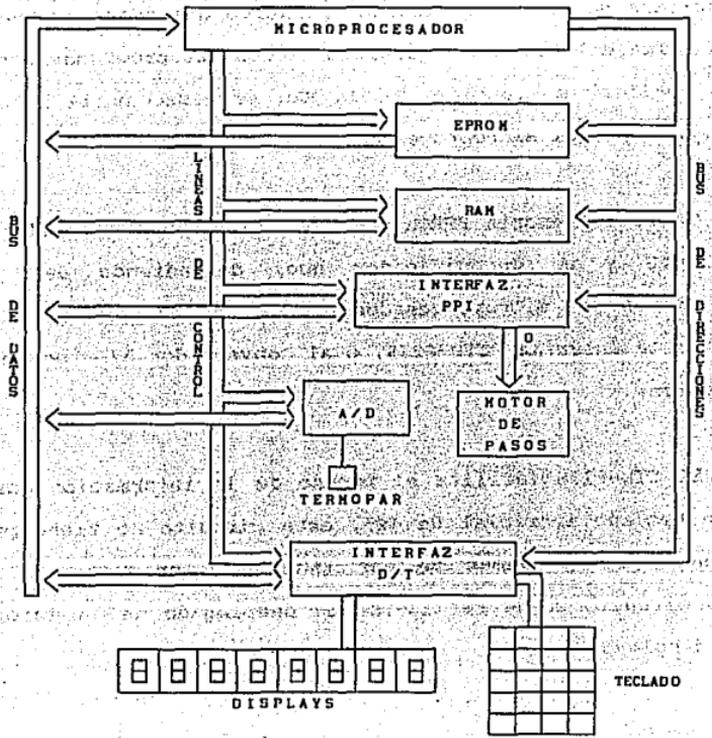


Figura 6.1 Sistema Programable de Criopreservación de Amibas.

6.2 Descripción de las conexiones de las memorias e interfaces

El microprocesador Z80A CPU controla a la memoria EPROM D2732A de 4KB y la memoria RAM MK6116N con una capacidad 2KB, en la primera se graba el sistema operativo del criocconservador que es el alma del sistema y contiene todos los programas necesarios para realizar su función. En la RAM se almacena la información procesada por el microprocesador.

Tanto la memoria EPROM como la RAM están controladas por el Z80A CPU y un decodificador que, dependiendo del bus de direcciones del microprocesador activa a las memorias (EPROM o RAM), a la interfaz CTD-8279, o al convertidor A/D, según sea la selección.

El CTD-8279 facilita el acceso de la información por medio de un teclado matricial de 4x5, este circuito no tiene problema de antirrebote, además de ser fácilmente programable. Con el mismo circuito puede realizarse el despliegado de la información en 8 displays.

Puesto que la entrada de datos y su despliegado son una parte integral de muchos diseños de microprocesadores, el diseñador de sistemas necesita una interfaz que pueda controlar estas funciones sin dar una gran carga al CPU. El CTD-8279 proporciona esta función para microprocesadores de 8 bits.

El CTD-8279 tiene dos partes: teclado y *display*. La sección de *display* maneja desplegados alfanuméricos o un banco de luces indicadoras; así, se releva al CPU de la exploración y refresco de *display*. Está diseñado para conectarse directamente al bus del microprocesador. El CPU puede programarse para dar los modos de operación del 8279 que son:

a) Buffer Entrada/Salida de Control y Datos: Se usan las señales \overline{CS} , Ao, \overline{RD} y \overline{WR} para controlar el flujo de datos hacia el CPU o hacia los *buffers* externos a él. El flujo de datos hacia y desde el CTD-8279 es habilitado por el \overline{CS} . El carácter de la información, dado por la configuración del CPU, es identificado por Ao. Un uno lógico significa que la información es un comando, un cero significa que es un dato. \overline{RD} y \overline{WR} determinan la dirección del flujo de datos a través de los *buffers* de datos. Los *buffers* de datos son bidireccionales y conectan al bus interno con el bus externo.

b) Registros de Control y Temporización: Estos registros almacenan los modos de operación del teclado, del *display* y otras condiciones programadas por el CPU. Los modos son programados al preseleccionar el comando apropiado en las líneas de datos con Ao = 1. El comando es cargado en la parte alta del \overline{WR} , se decodifica y la función es seleccionada.

c) Control de temporización: El control de tiempo contiene la cadena básica del contador de tiempo. El primer contador es preescalado entre N, programado para dar una frecuencia interna de 100kHz, dando un tiempo de exploración del teclado de 5.1 mseg. Los otros contadores dividen la frecuencia básica para proporcionar los tiempos de exploración codificado por línea, columna, matriz de teclado y *display*.

d) Buffers de Regreso y Anti-rebote del Teclado y Control: Las 8 líneas de regreso son acopladas y cargadas por los *buffers* de regreso. En el modo de teclado estas líneas son exploradas buscando teclas cerradas en una línea. Si el circuito de anti-rebote detecta un interruptor cerrado, espera 10 mseg. para chequear si continúa así, en ese caso la dirección de tal interruptor en la matriz más los estados del *shift* y el control son transferidos al FIFO.

e) Registros de Dirección de Display y RAM de Display: Estos registros retienen la dirección de la palabra que es escrita o leída por el CPU. Las direcciones de lectura/escritura son programadas por el CPU. La RAM de *display* puede leerse directamente por el CPU después de seleccionar el modo y la dirección correcta.

En la figura 6.2 se muestra el diagrama de bloques de la principales conexiones del CPU con el CTD-8279 considerando el arreglo matricial del teclado y *displays*.

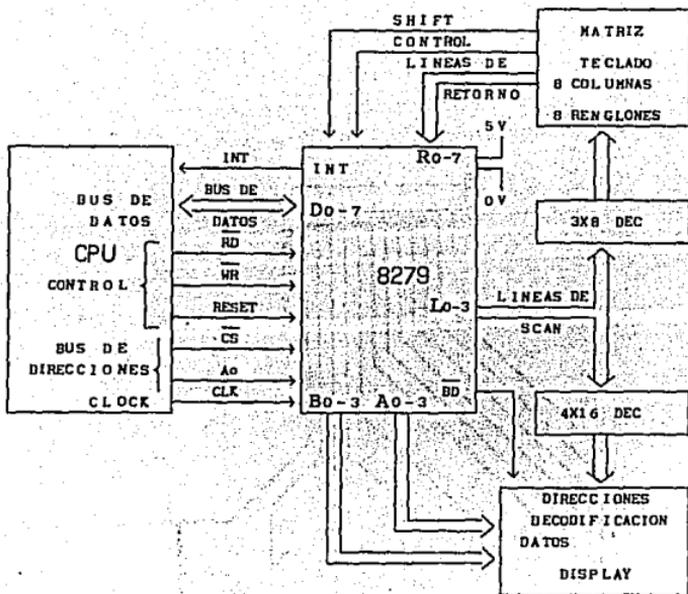


Figura 6.2 Diagrama de Bloques de las conexiones del CTD-8279 con el sistema.

En el figura 6.3 se muestra el diagrama electrónico del teclado, en la figura 6.4 la carátula de circuito impreso del teclado (*overlay*), en la figura 6.5 la cara de componentes del circuito impreso del teclado y en la figura 6.6 la cara de soldadura del circuito impreso del mismo.

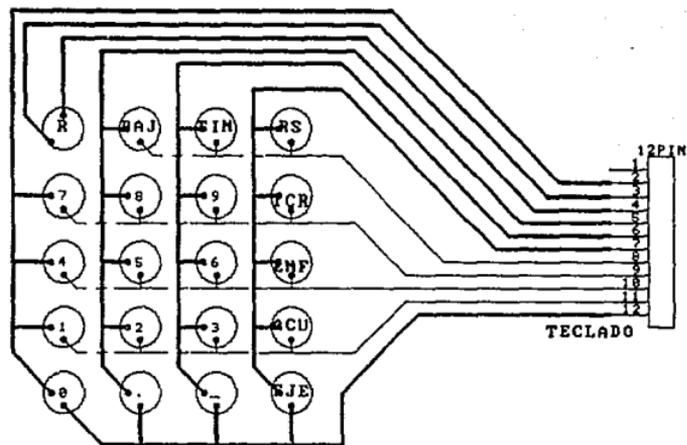


Figura 6.3 Diagrama esquemático del teclado.

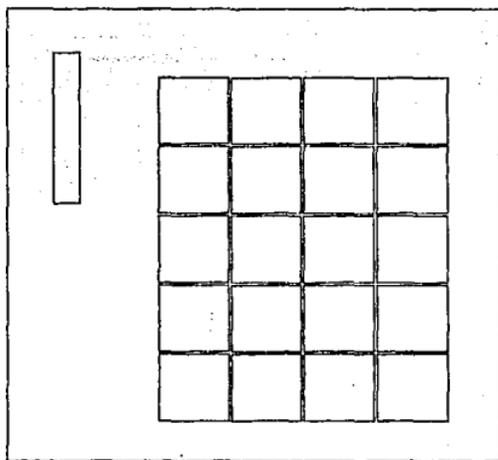


Figura 6.4 Carátula de circuito impreso (overlay).

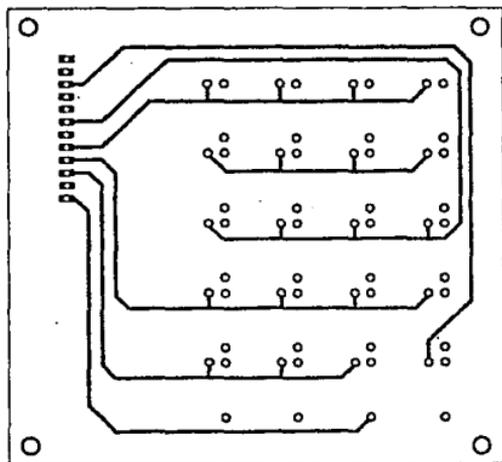


Figura 6.5 Cara de componentes del circuito impreso.

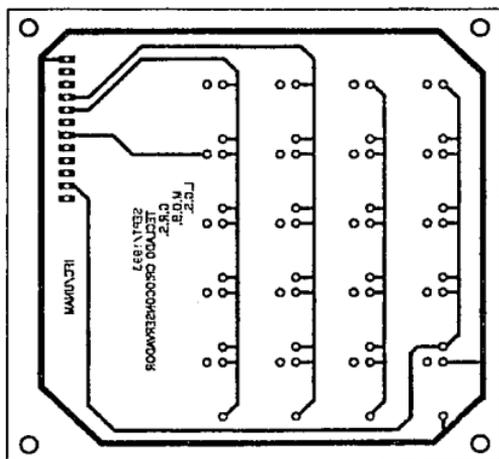


Figura 6.6 Cara de soldadura del circuito impreso del teclado.

La figura 6.7 ilustra el diagrama electrónico de la etapa de desplegado; la figura 6.8 la carátula de circuito impreso del desplegado (*overlay*); la figura 6.9 la cara de componentes del circuito impreso de los *displays* y la figura 6.10 la cara de soldadura del circuito impreso del mismo.

Con el circuito integrado PPI 8255, el microprocesador podrá mandar una serie de pulsos para desplazar el motor un determinado número de grados, que se traducirá en un desplazamiento lineal para la muestra, para ello se usa el puerto C para dicho fin.

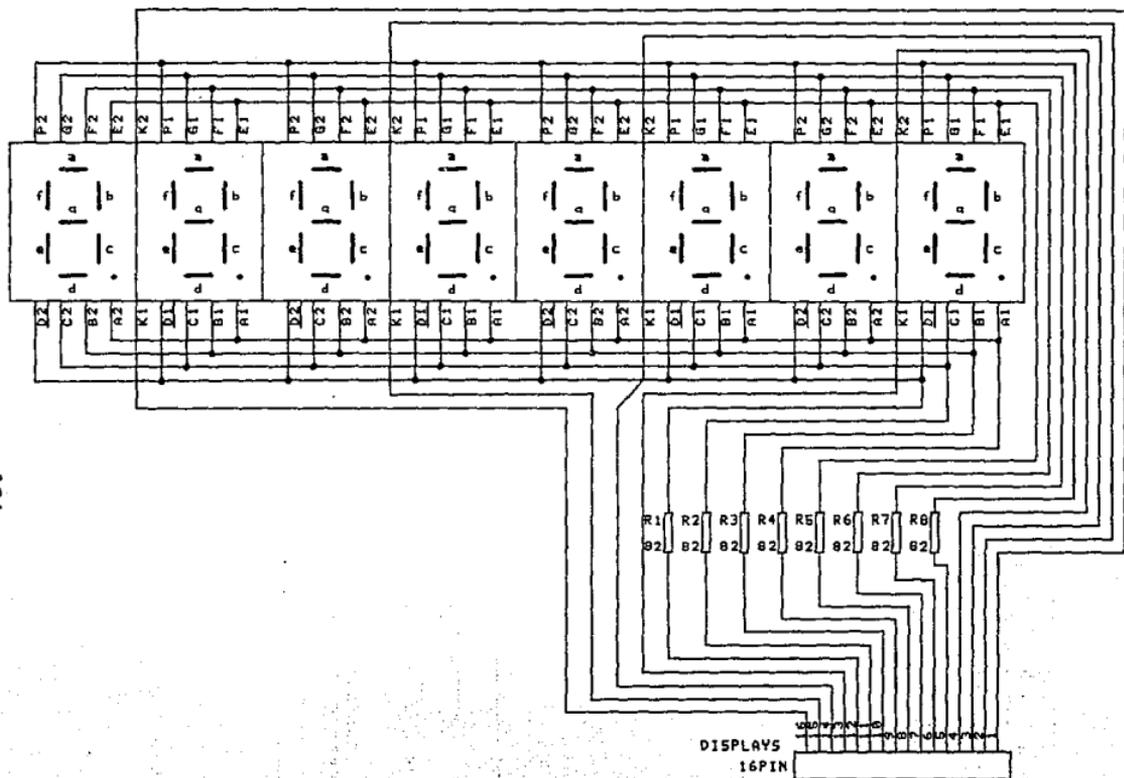


Figura 6.7 Diagrama electrónico de la etapa de desplegado.

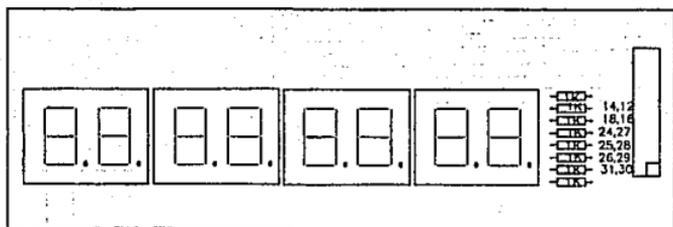


Figura 6.8 Carátula del circuito impreso de la etapa de desplegado (overlay).

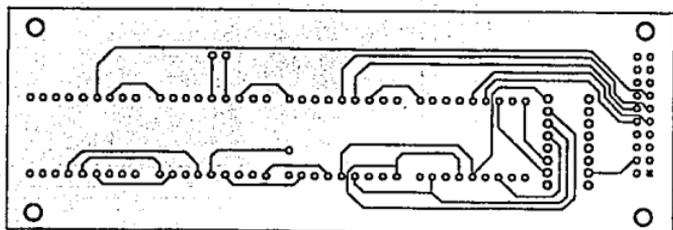


Figura 6.9 Cara de componentes del circuito impreso de la etapa de desplegado.

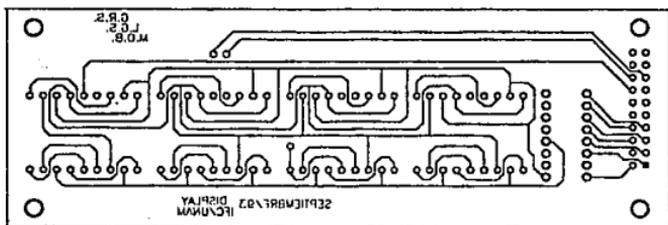


Figura 6.10 Cara de soldadura del circuito impreso de la etapa de desplegado.

6.3 Circuitos de temporización y sincronización

El sistema cuenta con un reloj de 4MHz, basado en un cristal de 8MHz, y polarizado por medio de inversores y resistencias que dan la forma de una señal cuadrada, este pulso de reloj es pasado por un *flip-flop* tipo D 74LS74 para dividirlo por dos y así obtener la señal de reloj de 4MHz, que alimenta al microprocesador; estos 4 MHz se introducen a un *flip-flop* incluido en la tarjeta de adquisición, el cuál los divide en cuatro obteniendo a la salida de éste, una frecuencia de 1MHz que se introduce al convertidor A/D para sincronizarlo con el microprocesador.

La señal de reloj de 4MHz es conectada a un circuito divisor de frecuencia formado por un contador 74LS193 y un 74LS08 que la divide en seis para obtener una señal de reloj de 666 KHz, que se envía al circuito integrado CTD-8279 para su sincronización con el microprocesador.

A continuación se muestra el diagrama esquemático completo de la tarjeta de control en la figura 6.11, en las figuras 6.12, 6.13 y 6.14 se ilustran la carátula de componentes (*overlay*), la cara de componentes y la de soldadura respectivamente.

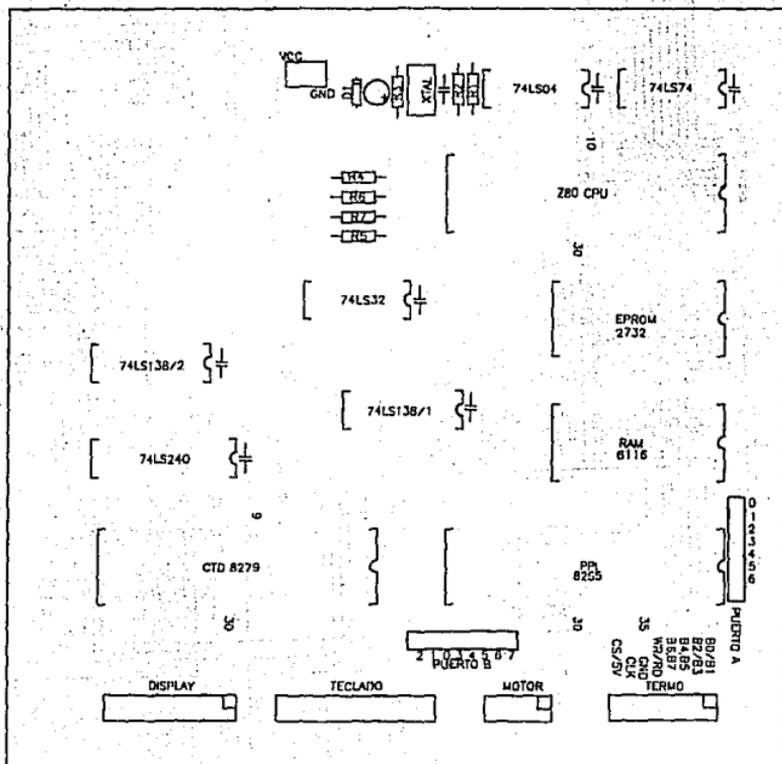


Figura 6.12 Carátula del circuito impreso de la tarjeta de control.

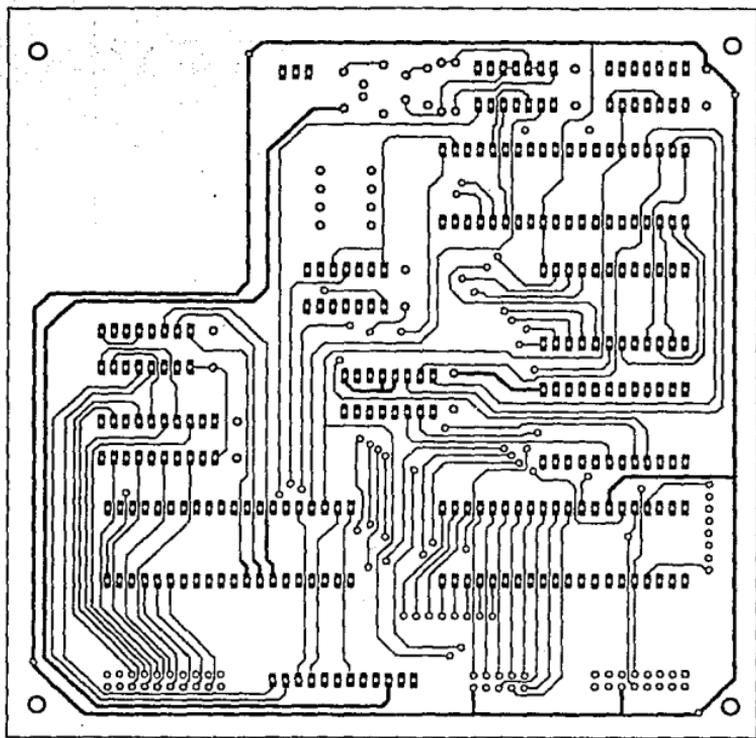


Figura 6.13 Cara de componentes de la tarjeta de control.

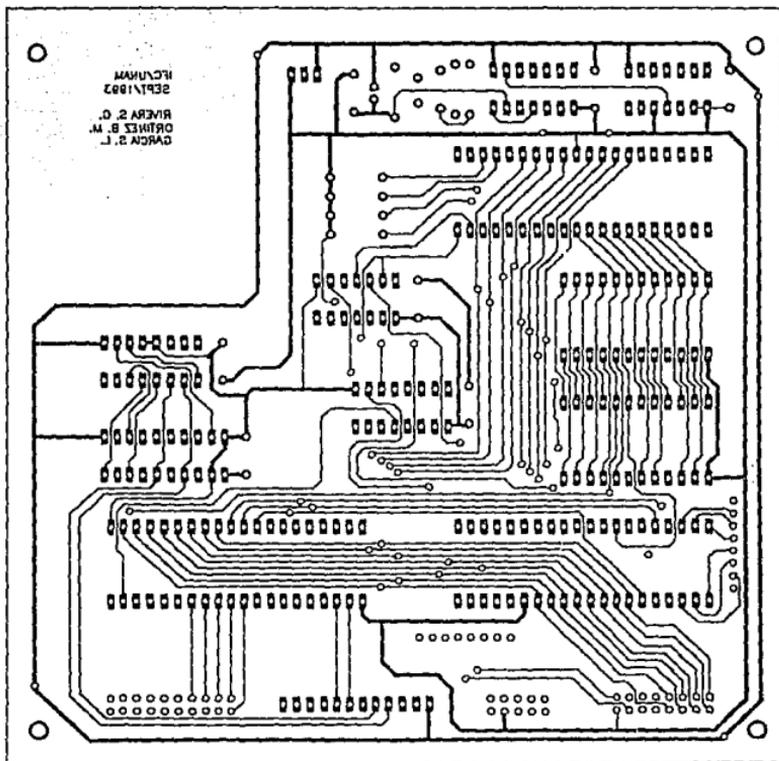


Figura 6.14 Cara de soldadura de la tarjeta de control.

CAPITULO 7
SISTEMA OPERATIVO DEL
CRIOCONSERVADOR

SISTEMA OPERATIVO DEL CRIOCONSERVADOR

7.1 Condiciones de programación

El sistema operativo está diseñado de tal manera que para el usuario sea fácil la programación de los parámetros utilizados, para esto, al encender el equipo aparecerá en los *displays* un mensaje indicando que el sistema está listo para que el usuario le proporcione los datos.

Los dos parámetros de importancia y de los cuales hay que tener un control adecuado son la temperatura crítica y la tasa de enfriamiento.

La temperatura crítica es el punto donde se ve afectada la viabilidad del microorganismo.

La tasa de enfriamiento es la velocidad de congelación a la cual está expuesto el microorganismo, ésta está dada en grados centígrados por minuto.

Otro parámetro es la temperatura inicial, que tiene como finalidad iniciar el proceso de control de enfriamiento. Al llegar a esta temperatura tomará el valor de la tasa de enfriamiento proporcionado por el usuario.

El último parámetro es la temperatura tope en la cual el sistema debe pararse, esto es, cuando la muestra pasa la temperatura crítica. En este momento ya no importa la velocidad de enfriamiento, por lo que este desplazamiento será aumentado hasta llegar al límite establecido. A continuación se detalla la programación que debe efectuar el usuario para el funcionamiento del sistema.

7.2 Manejo y operación del sistema

Al encender el equipo el usuario podrá ver en los *displays* el mensaje de "Libre", el cual indicará que está disponible el sistema para que pueda proporcionar los datos para el funcionamiento del criocconservador.

El criocconservador posee una matriz de teclas de 4x5, que tiene como característica la fácil identificación en sus, teclas, además, cualquier error en el momento de proporcionar la información, aparecerá en los *displays* el mensaje de error correspondiente a la función que se desea proporcionar. En la tabla 7.1 se muestra las funciones de cada una de las teclas de

la que consta la matriz.

TECLA	DESCRIPCION
RESET	Reestablece al sistema en general electrónicamente.
SUBE	Sube al portavial de 1 a 9 centímetros según se programe.
TEMP INIC	Es la temperatura inicial, indica el comienzo del proceso de control de enfriamiento.
RESET PROG	Reset de programa. Solamente restablece al microprocesador e inicia la ejecución del programa a partir de la dirección 0000H de la memoria EPROM.
TEMP CRIT	Temperatura Crítica: durante el rango de la temperatura inicial y temperatura crítica hay control del proceso de enfriamiento, pasando este límite no es necesario seguir el control.
TASA ENFR	Tasa de enfriamiento. Indica la velocidad con la que se desplazará la muestra a través del contenedor de nitrógeno líquido, el desplazamiento está dado en grados centígrados por minuto.
ACUM	Acumula: esta tecla registra los datos proporcionados por el usuario a la memoria del sistema. Esta tecla se utiliza en todas las funciones de programación.
EJEC	EJECUTAR: esta tecla sirve para iniciar el proceso de enfriamiento, siempre y cuando los datos de la temperatura crítica y tasa de enfriamiento hayan sido proporcionados, si no, desplegará error.

Tabla 7.1 Descripción de las funciones del teclado.

Además de las teclas descritas anteriormente, el sistema cuenta con diez teclas que corresponden a los dígitos del 0 al 9 para proporcionar los datos necesarios para la programación del criocconservador. Se tiene dos teclas que sirven como banderas, una asociada a la tasa de enfriamiento, que es la de punto, y la otra a la temperatura crítica, que es la de signo.

En la figura 7.1 se muestra la disposición del teclado:

RESET	SUBE	TEMP INIC	RESET PROC
7	8	9	TEMP CRIT
4	5	6	TASA ENFR
1	2	3	ACUM
0	.	-	EJEC

Figura 7.1 Teclado del Criocconservador.

El usuario puede proporcionar los siguientes datos al sistema: tasa de enfriamiento, temperatura crítica, temperatura de inicio y la función subir (uno a nueve centímetros el vial).

El sistema se puede reestablecer de dos maneras diferentes, ya sea por *software* o por *hardware*, a través de sus respectivas teclas.

Durante el proceso de enfriamiento el sistema despliega la temperatura que sensa en ese momento.

Al momento de programar el sistema por parte del usuario, si se introduce un dato equivocado, que no corresponda a una secuencia determinada, se desplegará el letrero de " Error", que durará aproximadamente cinco segundos. El sistema indicará la tecla que deberá oprimirse, dependiendo del acceso que se esté realizando para salir del error. Los errores que pueden aparecer son:

- o " tEc Punt. ".- Aparece cuando se ha teclado la tasa de enfriamiento y a continuación se oprime otra tecla que no sea la de punto.
- o " tEc SiGn " .- Aparece cuando se ha teclado la temperatura crítica y a continuación se oprime otra que no sea el signo (-).
- o "FALt. t.En.".- Cuando se ha teclado "EJECUTAR" y falta introducir el dato de la tasa de enfriamiento.
- o "FALt. t.cr.".- Cuando se ha teclado "EJECUTAR" y falta por introducir el dato de la temperatura crítica..

Para acceder el dato de la tasa de enfriamiento se deberá teclear "t.EnFr.", después oprimir la tecla de punto " . ", si no es así se desplegará el mensaje de "Error" y posteriormente el mensaje: "tEc.Punt." el cual desaparecerá si es tecleado el punto " . ", apareciendo el siguiente mensaje "t.EnF 0.__". A continuación se proporciona el dato que deberá estar comprendido dentro de los rangos de 0.01 a 0.09 y de 0.10 a 0.90 con intervalos de 0.10 para el último caso. Por ejemplo, si se va a proporcionar un dato que se encuentre en el rango de 0.01 a 0.09 se debe teclear primero " 0 "y aparecerá el siguiente mensaje "t.EnF `0.0_" y a continuación el dígito que se quiera. Si se llega a oprimir otra tecla que no corresponda a los dígitos, desplegará el letrero de "Error" y posteriormente el mensaje de "t.EnF 0.__", entonces el usuario deberá acceder de nuevo la información con el dato deseado. Para ser acumulado este dato se oprime la tecla de "ACUM" y enseguida aparecerá el letrero de "LibrE", entonces se podrá acceder el siguiente dato.

Para acceder el dato de temperatura crítica, deberá oprimirse la tecla de "Temp Crit", entonces aparecerá el mensaje de "t.crit.", a continuación se deberá oprimir la tecla de signo " - ", apareciendo inmediatamente el siguiente mensaje "t.cr -000"; en caso de que no fuera oprimida esta tecla, aparecerá el mensaje de "Error" y posteriormente el letrero "tEc SiGn" y deberá entonces oprimirse la tecla de signo " - ". A continuación se proporcionarán los dígitos que estén en el intervalo de 0 a 199. Si el dato es aceptado se podrá acumular

oprimiendo la tecla "ACUM" quedando libre el sistema. En caso de que no fuera aceptado, por ejemplo, si se introduce un valor mayor a 199, al teclear el tercer dígito aparecerá el mensaje de "Error" y a continuación el letrero "t.cr. -000" el cual indica que debe introducirse nuevamente el dato correcto.

7.3 Descripción del programa principal

El sistema operativo del criocervador consiste en una serie de instrucciones y subrutinas, las cuales tienen como objetivo la inicialización de los puertos e interfaz del sistema, para llevar a cabo el control del congelamiento de las muestras.

El programa principal está diseñado de tal manera que puede estar chequeando la información proporcionada por el usuario, en la figura 7.2 se muestra el diagrama de flujo del sistema operativo del criocervador, en el se pueden observar los diferentes pasos que se siguieron en la programación del sistema.

El programa ensamblador se encuentra en el apéndice A, en él está el listado completo del sistema operativo del criocervador.

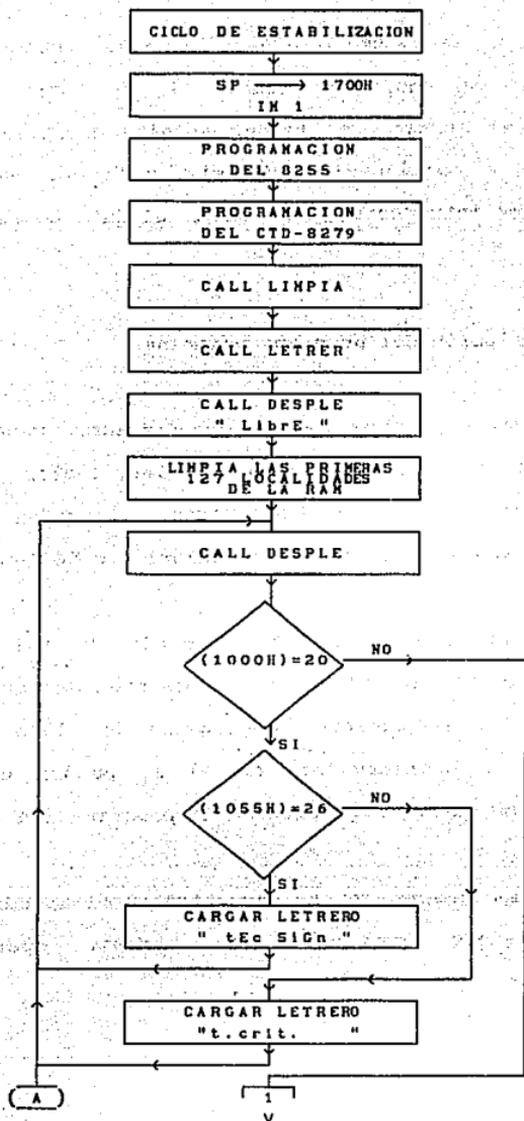


Figura 7.2a Diagrama de Flujo del Sistema Operativo del Criocconservador.

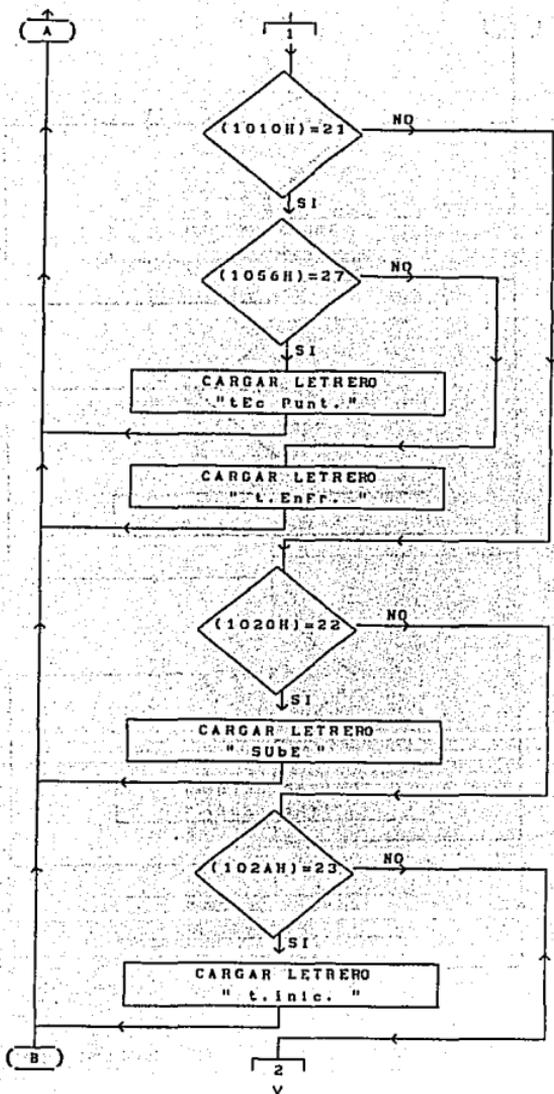


Figura 7.2b Diagrama de Flujo del Sistema Operativo del Criocconservador.

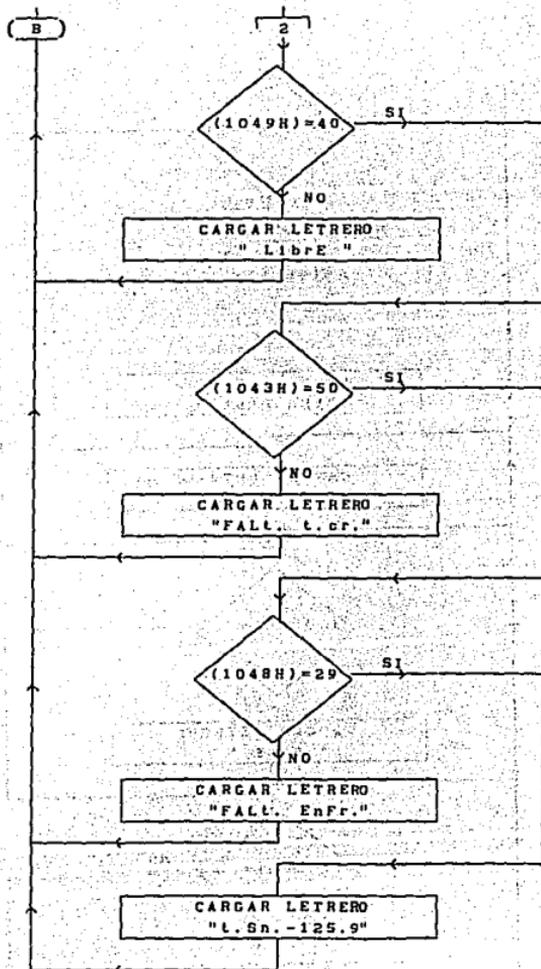


Figura 7.2c Diagrama de Flujo del Sistema Operativo del Criopreservador.

El programa operativo inicia con un ciclo de retardo que le permite al microprocesador y al sistema en general estabilizarse.

Se programa el apuntador de la pila de datos conocido como *stack pointer* (SP) con la dirección 1700H de la memoria RAM, para que a partir de esta localidad se escriban o se lean los datos procesados por el sistema.

Se habilita la interrupción (EI) para que de inmediato el sistema pueda recibir algún dato introducido mediante el teclado.

Después se programan los puertos de entrada y salida del PPI 8255, al puerto A y la parte alta del puerto C como puertos de entrada, al puerto B y la parte baja del puerto C como salida, posteriormente se especifica para qué son empleados. En el apéndice B se detalla la programación del circuito integrado PPI 8255.

El registro índice IX es cargado con la dirección 3800H y a partir de esta localidad se habilitará la *interfaz de Teclado/Display* (8279 de Intel), ya sea para cargar una palabra de control o para el almacenamiento del código de una tecla. Enseguida, se manda llamar la subrutina PR8279 que programa al CTD 8279, para que despliegue y se pueda proporcionar la información en la siguiente forma: en el modo de entrada, cuando se oprime una tecla se genera una interrupción que producirá en la RAM del 8279 un código de 6 bits que debe ser leído por el μp

para deshabilitar la interrupción del 8279.

Dicho circuito cuenta con anti-rebote de teclado para evitar lecturas falsas de un dato. El despliegue de la información se hace por medio de ocho *displays* de siete segmentos, los datos se encuentran previamente cargados en localidades de memoria del μ p que después son transferidos a la memoria del 8279.

Se programa también el tiempo de muestreo del teclado dependiendo del reloj del μ p para la sincronización del circuito, y por último se limpia la RAM del 8279 para evitar errores de desplegado y lectura de datos. En el apéndice B se explica el funcionamiento detallado del circuito CTD 8279 programable.

Subrutina LIMPIA, en ésta se limpian los puertos del 8255, para evitar que se active el motor de pasos de la etapa de desplazamiento.

La subrutina LETRER almacena los mensajes en la memoria RAM del μ p a partir de la localidad 111BH, estos mensajes tienen la característica de que son variables, dependiendo de los datos proporcionados. Los mensajes fijos son grabados directamente en la memoria EPROM de la tarjeta de control a partir de la localidad 0560H.

Después de haber programado las *interfaces* y los puertos para ser usados, se procede a desplegar el mensaje de "Libre", con la ayuda de la subrutina DESPLE, que es una subrutina general de despliegue para ocho dígitos .

El programa limpia las primeras 127 localidades de la RAM, donde serán almacenados los datos principales, como son temperatura crítica, tasa de enfriamiento y temperatura inicial.

EL listado completo del sistema operativo del criocconservador se incluye en el apéndice A.

Después de haber inicializado los puertos y las *interfaces* del sistema, el control está en espera de recibir una interrupción de alguna de las teclas y dependiendo del dato, se guardan en localidades de memoria RAM las banderas para checar la información accesada por el usuario y así, el sistema despliega los letreros correspondientes al dato registrado. Cada vez que se finaliza el almacenamiento de un dato completo, el sistema operativo desplegará el letrero de "Libre". Esto indicará que el sistema está listo para realizar otro registro de dato ó está preparado para realizar una función determinada.

7.4 Rutina de interrupción

El microprocesador que se utilizó es el Z80, el cual cuenta con dos tipos de interrupciones: interrupción mascarable e interrupción no mascarable. De estas dos, la interrupción utilizada es la mascarable.

El circuito utilizado para el control del teclado y el *display* es el 8279 de Intel, éste tiene una línea de salida de interrupción, y cada vez que se oprime una tecla, se establece un nivel de voltaje en la terminal de éste.

Cuando se oprime una tecla del sistema criocconservador se produce la interrupción en una de las terminales del circuito integrado (8279 Intel), la cual se encuentra conectada al microprocesador Z80.

Cuando se desea interrumpir al microprocesador en modo mascarable, se tiene que activar la entrada $\overline{\text{INT}}$ del bus de control. Si se encuentra deshabilitada la máscara de interrupción, esto es, si se ha habilitado el *flip-flop* interno de interrupción (IFF), mediante la ejecución de la instrucción EI, entonces el μp responde concediendo la ejecución de una rutina de servicio al periférico que interrumpió. La respuesta consiste en la activación conjunta de las salidas $\overline{\text{IORQ}}$ y $\overline{\text{MI}}$.

El modo de atender a una solicitud de interrupción mascarable es programable. Se utilizan las instrucciones IMO, IM1 e IM2 para programar los modos de interrupción 0, 1 y 2 respectivamente.

Para la programación de este sistema se utiliza el modo de interrupción 1. Aquí se tiene un sólo nivel de interrupción y el periférico que solicita a ésta, no tiene responsabilidad de colocar algún código en el bus de datos.

Cuando el μp está programado para atender una solicitud de interrupción mascarable en modo 1, la secuencia de actividades es la siguiente:

- 1.- Se activa \overline{INT} .
- 2.- Se limpia IFF1 y se activan las señales \overline{IORQ} y $\overline{M1}$ al finalizar la ejecución de la instrucción en proceso.
- 3.- El μp ejecuta automáticamente el código de instrucción RST 7. El contenido actual del PC se salva en la pila de datos y se carga con la dirección 0038H.
- 4.- Se inicia la ejecución de la rutina de servicio a la interrupción a partir de la localidad donde apunta el PC actualizado por el salto en la dirección 0038H.
- 5.- Termina la rutina de servicio con la ejecución de la instrucción RETI que provoca que el PC se actualice con el contenido del tope de la pila de datos y continúe la ejecución del programa principal.

En la figura 7.3 se muestra el diagrama de flujo de la secuencia de interrupción mascarable en el modo 1.

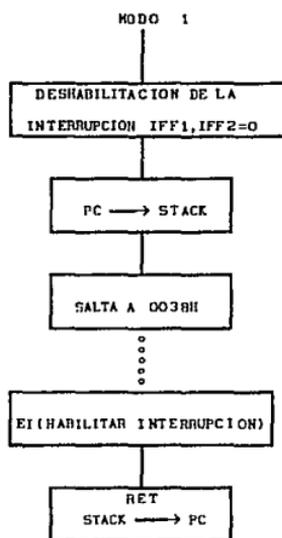


Figura 7.3 Secuencia de Interrupción Mascarable en Modo 1.

Para deshabilitar al circuito integrado 8279 (Intel), se lee el dato de la tecla que se encuentra en la memoria interna del 8279, inmediatamente el dato es procesado por la subrutina CAMVAL que tiene como objetivo cambiar el valor del dato obtenido del 8279 para facilitar la programación del sistema.

La identificación del código de la tecla se hace por medio de comparaciones, cuando se identifica una tecla se guarda una bandera en una localidad de memoria para saber cuál tecla ha sido accesada, pudiendo tener un control en la secuencia de acceso y así mandar a desplegar los mensajes adecuados para facilitar la programación del sistema. Cada vez que es procesado y registrado un dato, se habilita la interrupción para poder atender la que genere otra tecla.

Otras subrutinas utilizadas para el procesamiento de los datos son: ERROR1, NUMER, DESPLE y BAJA1.

La subrutina ERROR1 manda un mensaje de error cuando se ha oprimido una tecla que no corresponde a una secuencia determinada o alguno de los parámetros utilizados está fuera de rango. El mensaje tiene una duración de cinco segundos.

La subrutina NUMER es utilizada cuando se despliega un dato que corresponde a un número del cero al nueve, esta subrutina guarda en una localidad, definida con anterioridad, el código del dígito que se va a desplegar.

La subrutina BAJA1 tiene como objetivo bajar el portavial de uno a nueve centímetros, en esta subrutina no se realiza sensado de temperatura.

En la programación de esta etapa tienen la misma jerarquía las teclas de temperatura crítica y tasa de enfriamiento, esto es, si se tecléa la temperatura crítica y no se ha terminado de accésar toda la información de ésta y se tecléa la tasa de enfriamiento, se hará caso a esta última borrando la información accesada en los registros de la temperatura crítica.

En la figura 7.4 se muestra el diagrama de flujo de la rutina de interrupción.

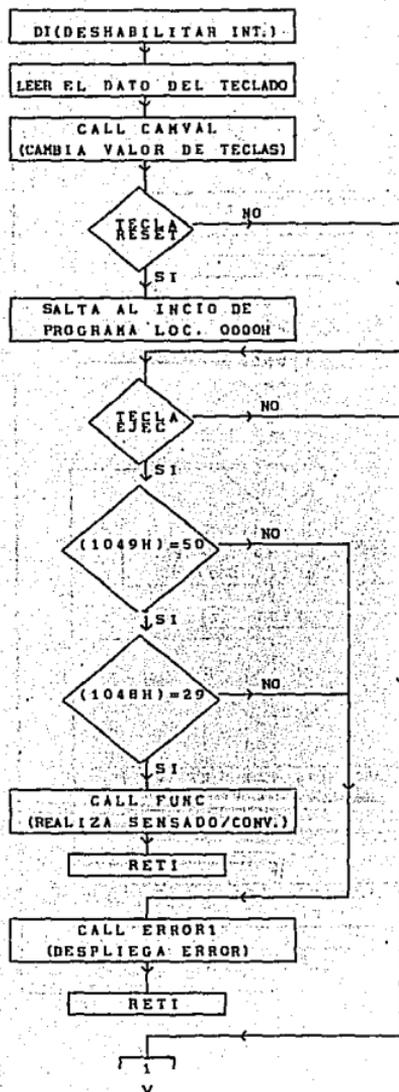


Figura 7.4a Diagrama de Flujo de la Rutina de Interrupción.

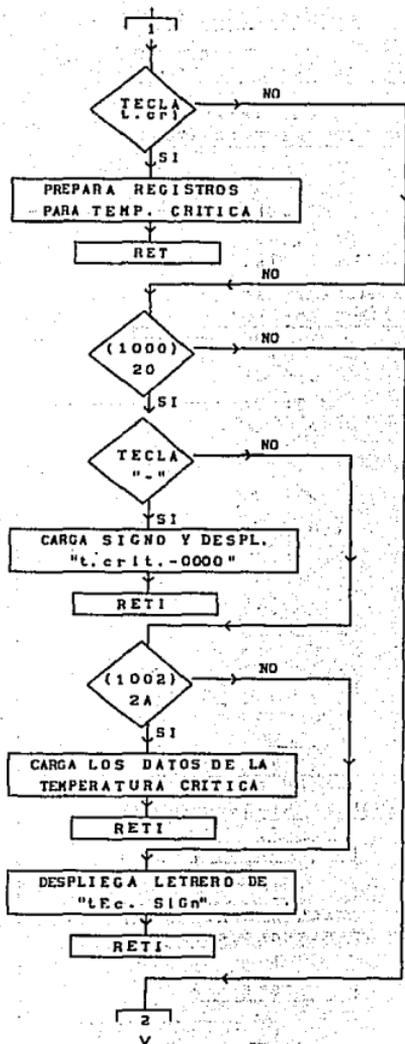


Figura 7.4b Diagrama de Flujo de la Rutina de Interrupción.

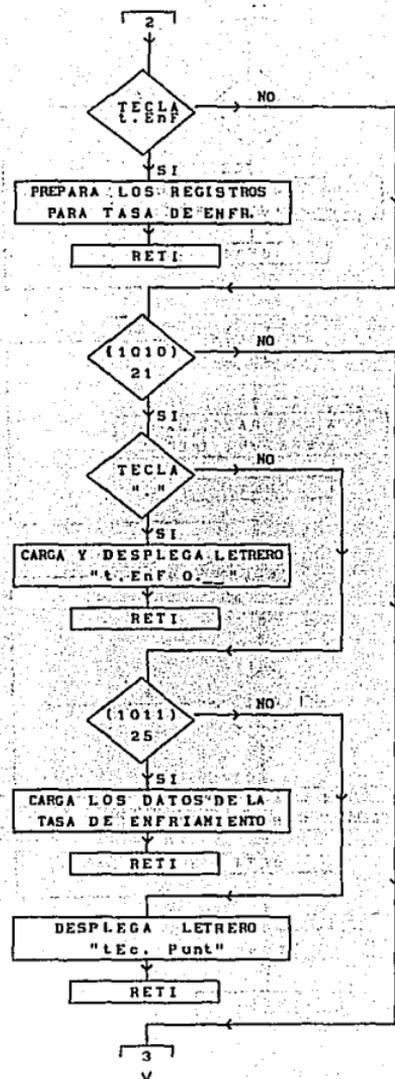


Figura 7.4c Diagrama de Flujo de la Rutina de Interrupción.

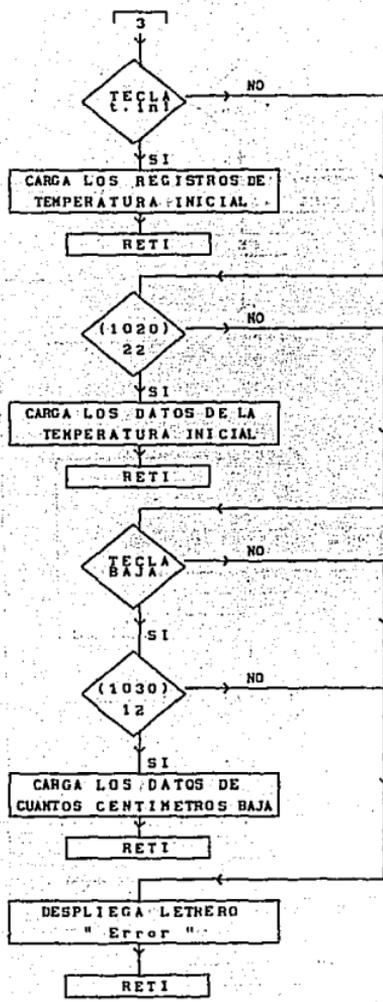


Figura 7.4d Diagrama de Flujo de la rutina de Interrupción.

7.5 Rutina de control

Cuando se han proporcionado todos los datos al sistema y es oprimida la tecla " EJEC ". El programa salta a la subrutina FUNC, la cual tiene como función registrar la temperatura sensada por el convertidor analógico digital de doce bits, este registro se efectúa en dos partes: primero se accesa la parte baja en ocho bits, para acceder la parte alta y de acuerdo a las recomendaciones que se mencionan en el Apéndice B, se dejan pasar 150 ciclos de reloj y después carga la parte alta de la información, donde los cuatro bits menos significativos tienen la información de la parte alta de la temperatura y los cuatro bits restantes tienen la información del signo.

Cuando el dato de la temperatura se encuentra registrado se procede a hacer la conversión por medio de la subrutina TEMPER. Esta subrutina toma el valor absoluto de la temperatura, guardando en un registro una bandera donde se identifica si se trata de un valor positivo o negativo, si se trata de un valor negativo, se invierte el código para poderlo procesar.

El dato de la temperatura se encuentra en código hexadecimal, para convertirlo a decimal en un rango de 0 a 4048 se utiliza la subrutina CONVEHD, esto quiere decir que la temperatura sensada puede ser de -404.8°C a $+404.8^{\circ}\text{C}$. Al finalizar la conversión regresa a la subrutina TEMPER donde prepara los códigos para desplegar el dato procesado.

Finalizado el proceso de conversión del dato, se regresa a la subrutina FUNC, donde se habilita el motor de pasos. Se verifica la secuencia de rotación del motor, para no producir un desplazamiento erróneo. El tiempo de desplazamiento en esta etapa es el máximo, es decir, bajará a una velocidad mayor hasta que sea sensada la temperatura inicial de control que en forma automática tomará el valor de 4°C, o por medio de programación que va desde 9°C a 0°C, pasando esta temperatura el desplazamiento estará en función del dato de la tasa de enfriamiento proporcionado por el usuario.

Nuevamente se toma el dato de la temperatura sensada, se procesa y se llama a la subrutina COMPAR, que tiene como función comparar la temperatura leída con la almacenada en las localidades de memoria, para realizar la modificación de la tasa de enfriamiento, dependiendo de si se rebasa la temperatura inicial o se encuentra en el proceso controlado de enfriamiento y no se ha sobrepasado la temperatura crítica, o ya se ha rebasado la temperatura crítica y se realiza la comparación de la temperatura de paro para finalizar el proceso de enfriamiento.

Al regresar a la subrutina FUNC se verifican las localidades de memoria para saber si debe continuar realizando el proceso de enfriamiento o se da por terminado, limpiando las localidades de memoria y finalmente liberando el sistema para comenzar un nuevo proceso. En la figura 7.5 se muestra el diagrama de flujo de la subrutina FUNC.

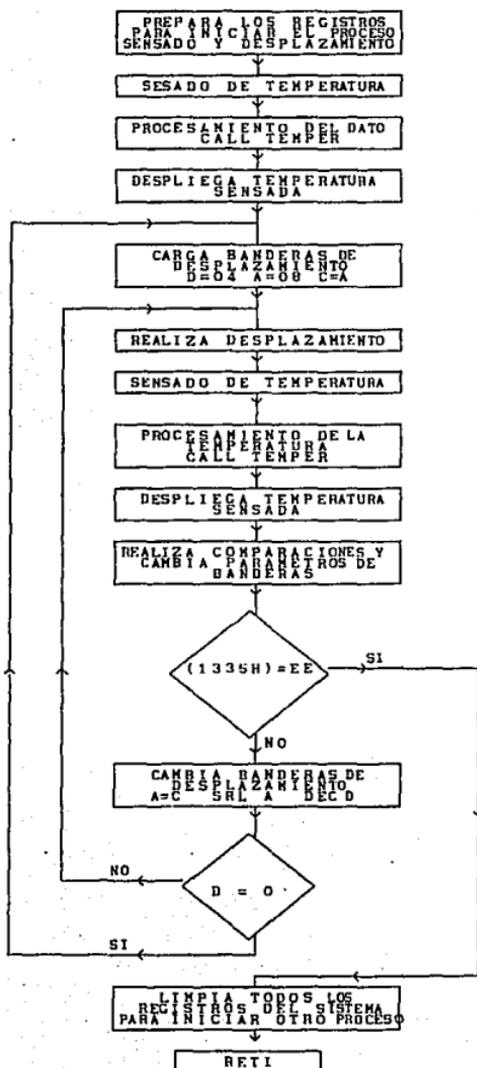


Figura 7.5 Diagrama de Flujo de la Subrutina FUNC.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Montaje del sistema

Para facilitar el manejo del Sistema de Crioconservador y adaptarse a las necesidades del usuario, el sistema completo cubre las siguientes condiciones: es fácil de colocarlo al contenedor (*Dewar*), esto quiere decir, que es portátil y puede ser usado en otro contenedor, puesto que los *Dewars* son usados para conservar muestras por largo periodo de tiempo.

Las tarjetas diseñadas, como la de control, la de teclado, la de despliegue, la de potencia y la tarjeta de adquisición están montadas en una base de aluminio construida de tal manera que es fácil colocarla en el *Dewar*; en la parte superior de la base se encuentra colocado el motor de pasos.

Las características de la base de aluminio son las siguientes: no es pesada, por lo tanto se puede poner y quitar fácilmente del contenedor; la parte superior es de forma cilíndrica y está cubierta en su alrededor de acrílico para evitar turbulencias que puedan producir cambios bruscos de temperatura en la boca del *Dewar*; en su parte inferior, la base tiene forma cónica para poder empotrarlo al contenedor, en la figura 1 se muestra la base de aluminio que contiene al sistema de crioconservación completo.

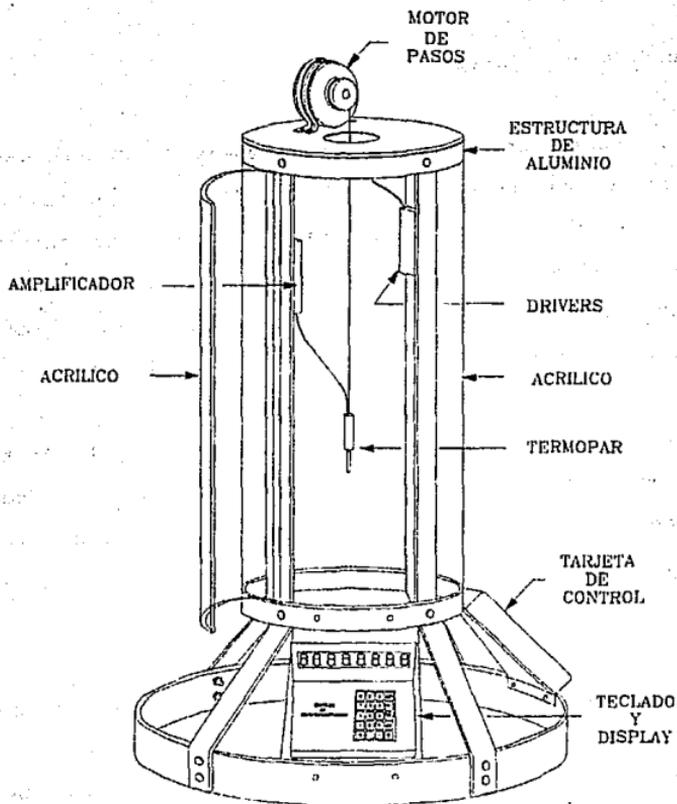


Figura 1. Base de aluminio diseñada para el Crioconservador

Las cinco tarjetas diseñadas están hechas en circuitos impresos con tecnología "through-hole", tienen grabados en el lado de componentes los empaques de los dispositivos electrónicos utilizados, así como las nomenclaturas de cada uno de ellos.

Ventajas del sistema desarrollado

Los beneficios que se derivan de este sistema de enfriamiento son: contar con un aparato de integración nacional que permite el congelamiento y viabilidad de las muestras en nitrógeno líquido, además de tener acceso a un equipo sencillo de fácil manejo y práctico; por otra parte, útil para documentar los antecedentes que permiten proponer la evaluación posterior de su utilidad logrando una mayor viabilidad.

La principal aportación en el área de desarrollo tecnológico reside en poder contar con un aparato diseñado y construido en México, a bajo costo y que se adecúa al sistema de congelamiento que se desea.

Las ventajas del sistema de congelamiento diseñado son las siguientes:

- 1) Es un sistema de fácil programación, ya que el usuario sólo necesita proporcionar los siguientes datos: Tasa de Enfriamiento, Temperatura Crítica y si se requiere, la Temperatura de Inicio.

- 2) El sistema indica si hay error en el momento de proporcionar los datos o si falta algún parámetro, no se inicia el proceso si la información es incompleta.
- 3) Finaliza el proceso de enfriamiento cuando la muestra llega a la temperatura del nitrógeno líquido que es de aproximadamente -196°C .
- 4) Es un sistema portátil.
- 5) Puede ser usado en otros contenedores (*Dewars*).
- 6) Existe control del desplazamiento del portavial, dependiendo del gradiente de temperatura sensado y registrado por el sistema de control.
- 7) Disminuye las turbulencias debido al desplazamiento del motor de pasos, que es de 1.8° en forma lineal se traduce en 0.07 milímetros y además de estar cubierta alrededor de acrílico evitando las ráfagas de viento que pudieran haber.
- 8) Tiene opción para 20 diferentes tasas de enfriamiento.
- 9) Es de bajo consumo de energía.
- 10) Es de bajo costo.
- 11) Es el único sistema de enfriamiento programable en el Instituto de Fisiología Celular de la UNAM.

Cabe aclarar que este tipo de sistema no se puede comparar ya que no existe en el mercado mexicano, por lo que sólo se conocen por medios bibliográficos, los que existen en el extranjero son de alto costo razón por la cual son difíciles de adquirir.

Desventajas del sistema desarrollado

Las desventajas del sistema de enfriamiento son las siguientes:

- 1) El termopar no es de adquisición Nacional, no obstante dicho sensor es de suma importancia para el sistema.
- 2) La respuesta del termopar no es lineal.
- 3) El mecanismo de desplazamiento es muy rudimentario debido al bajo presupuesto asignado para el proyecto.

Al sistema de enfriamiento desarrollado se le pueden hacer modificaciones para mejorar su funcionamiento, pero todo esto dependerá de las condiciones experimentales y a las restricciones económicas que se tengan.

Características eléctricas del sistema

El sistema cuenta con varias etapas como ya se mencionaron en capítulos anteriores, el análisis del consumo de energía del sistema de enfriamiento es el siguiente:

Las fuentes de alimentación para el sistema son dos: una alimenta a la etapa de control digital incluyendo el amplificador

de instrumentación para el termopar y la otra polariza la etapa de potencia para activar al motor de paso. Ambas fuentes son independientes una de otra.

El consumo de corriente para la etapa de control digital e instrumentación es de 400 mA C.D. y para la etapa de desplazamiento del motor de paso es de 650 mA C.D.

De acuerdo a las configuraciones utilizadas tanto para la fuente dual complementaria y la tipo puente se utilizó un tipo de filtro capacitivo colocando capacitores de 20,000 μ F. Para encontrar la corriente requerida en los secundarios de los transformadores en valor RMS, se considera un factor de 1.8 que multiplica a la corriente de salida en el regulador.

Asumiendo las siguientes consideraciones:

- 1.- Vreg debe ser 3V o mayor.
- 2.- Vrect es aproximadamente de 1.25 C.D.
- 3.- Vrizo es 10 % del voltaje C.D. pico.

Se utilizó la siguiente fórmula para determinar el voltaje en el secundario del transformador.

$$V_{ac} = \frac{V_{nom}}{\sqrt{2}} \left(\frac{V_{out} + V_{reg} + V_{rect} + V_{rizo}}{0.92} \right)$$

Donde :

0.92 = Es la eficiencia del rectificador (Típica).
 V_{nom} = Voltaje nominal.
 V_{linea} = Voltaje de línea.
 V_{out} = Voltaje de salida.
 V_{rect} = Voltaje en rectificador.
 V_{rizo} = Voltaje de rizo.
 V_{reg} = Voltaje en el regulador.

En base a los parámetros obtenidos se hacen las siguientes consideraciones: para la primera fuente $V_{sal} = +/- 15V$. C.D., $V_{reg} = 3V$, $V_{rect} = 1.25V$ y $V_{rizo} = 0.75V$ (1.5 V_{p-p}). y para la segunda fuente $V_{sal} = +/- 5V$ C.D., $V_{reg} = 3V$, $V_{rect} = 1.25V$ y $V_{rizo} = 0.5V$ (1 V_{p-p}), las corrientes de consumo fueron para la primera 400mA y para la segunda 650mA, por lo que las corriente son: 400mA x 1.8 = 170mA RMS y la segunda 650mA x 1.8 = 1.17A RMS respectivamente. Estos resultados son útiles para determinar los valores de los fusibles de protección en ambas fuentes para el sistema; encontrando las relaciones de transformación, esta son: 115/36V y 115/12 v respectivamente por lo que la corriente en los primarios son de 0.21A y 0.12A respectivamente, de esta forma se colocaron fusibles comercialmente disponibles de 0.25A y 0.125A.

De acuerdo con la fórmula para determinar voltaje en el secundario se obtuvieron los siguientes resultados para la fuente dual:

$$V_{ac} = +/- 18.6 \text{ Volts.}$$

Se concluye que se necesita un transformador de 36 Volts a 0.7A, por lo que comercialmente se eligió uno de 2A debido a las pérdidas existentes, la potencia consumida es de 25VA.

Para la segunda fuente, de acuerdo con la fórmula para determinar el voltaje en el secundario es de:

$$V_{ac} = 9.07 \text{ Volts.}$$

Para el segundo caso se especificó un transformador de 12V a 1.17A, por lo que comercialmente se eligió uno a 2A, la potencia consumida es 14 VA.

Sumando las potencias el resultado es el consumo del sistema de Criocconservación es aproximadamente de 39 VA, pero considerando un 80% de eficiencia en los transformadores se determina entonces un consumo de 31 VA.

Por lo que se especifica como característica eléctrica un consumo de 39 VA 115V AC.

Analisis de costos del sistema

En el diseño del criocconservador se puede dividir el costo en dos partes: su costo por material y fabricación de tarjetas y por mano de obra incluyendo en esta parte el diseño. Tal vez por ser un prototipo el costo del equipo sea muy elevado.

TARJETA DE CONTROL

CANT.	DESCRIPCION	COSTO U*	SUBT*
1	Z80 CPU	12.60	12.60
1	8279 TEC DISP	26.00	26.00
1	8255 PPI	21.55	21.55
1	2732 EPROM	17.60	17.60
1	6116 RAM	13.00	13.00
2	74LS138	1.54	3.08
1	74LS04	0.77	0.77
1	74LS74	0.87	0.87
1	74LS32	0.87	0.87
1	74LS240	1.80	1.80
1	74LS08	0.77	0.77
1	74LS193	1.54	1.54
1	CRISTAL 8MHZ	15.80	15.80
4	BASE P/CIRC. INT 14 PIN	0.25	1.00
3	BASE P/CIRC. INT 40 PIN	0.75	2.25
3	BASE P/CIRC. INT 16 PIN	0.35	1.05
2	BASE P/CIRC. INT 24 PIN	0.50	1.00
1	BASE P/CIRC. INT 20 PIN	0.50	0.50
2	PARES DE CONECTORES 10 PIN	10.00	20.00
1	CONECTOR 20 PIN	15.00	15.00
1	CONECTOR 12 PIN	10.00	10.00
1	CONECTOR 3PIN	6.00	6.00
7	RESISTENCIAS 1/4 W	0.20	1.40
6	CAPACITORES CERAMICOS 0.1μF	0.20	1.20
1	DIODO DE SEÑAL 1N4148	0.10	0.10
3	METROS DE CABLE PLANO 40 HILOS	3.24	9.72
1	TARJETA CIRC. IMPRESO	320.00	320.00
1	GABINETE	120.00	<u>120.00</u>
			625.47
1	MANO DE OBRA Y DISEÑO		<u>3000.00</u>
	TOTAL		3625.47

* Nota: Todos los precios están en nuevos pesos.

Tarjeta de amplificación y sensado

CANT.	DESCRIPCION	COSTO U*	SUBT.*
1	ADC1205	125.00	125.00
1	TL084	3.00	3.00
1	TL082	2.50	2.50
1	74LS74	0.87	0.87
5	TRIMPOTS	6.00	30.00
1	DIODO ZENNER REF LM336	5.00	5.00
7	RESISTENCIAS DE PRECISION	2.00	14.00
11	RESISTENCIAS 1/4 W	0.20	2.20
2	DIODOS 1N4148	0.10	0.20
10	CAPACITORES CERAMICOS 0.1 μ F	0.20	2.00
3	CAPACITORES ELECTROLITICOS 10 μ F10V	0.25	0.75
1	BASE P/CIRC. INT DE 24 PIN	0.50	0.50
2	BASES P/CIRC. INT DE 8 PIN	0.25	0.50
2	BASES P/CIRC. INT DE 14 PIN	0.25	0.50
1	PAR DE CONECTOR 16PIN	14.00	14.00
1	PAR CONECTOR 2 PINES	6.00	6.00
1	PAR CONECTOR 3 PINES	6.00	6.00
1	TERMOPAR TIPO T	380.00	380.00
1	TARJETA CIRC. IMPRESO.	225.00	225.00
1	GABINETE	80.00	80.00
			898.02
	MANO DE OBRA Y DISEÑO		2000.00
	TOTAL		2898.02

*Nota: Todos los precios estan en nuevos pesos.

Tarjeta de teclado y displays

CANT.	DESCRIPCION	COSTO U *	SUBT. *
20	TECLAS	3.50	70.00
4	DISPLAYS DOBLES ANODO	6.10	24.40
1	PAR DE CONECTOR 12 PIN	10.00	10.00
1	PAR DE CONECTOR 20 PIN	15.00	15.00
8	RESISTENCIAS 1/4 W	0.10	0.80
2	METROS CABLE PLANO 20 HILOS	3.24	6.48
1	TARJETA CIRC. IMPRESO TECLADO	120.00	120.00
1	TARJETA CIRC. IMPRESO DISPLAY	120.00	120.00
1	GABINETE	80.00	80.00
			<u>446.68</u>
	MANO DE OBRA Y DISEÑO		500.00
	TOTAL		<u>946.68</u>

Tarjeta del motor

CANT	DESCRIPCION	COSTO U *	SUBT *
4	TRANS. TIP 31C	1.60	5.60
8	TRANS. TIP 41C	1.70	13.60
4	DIODOS 4003	0.10	0.40
4	4N28 OPTOTRANS.	2.10	8.40
24	RESISTENCIAS	0.20	4.80
1	MOTOR DE PASO 1.8°	450.00	450.00
1	PAR CONECTOR 10 PIN	12.00	12.00
1	PAR CONECTOR 6 PIN	14.00	14.00
1	PAR CONECTOR 3 PIN	6.00	6.00
2	METROS CABLE PLANO	3.24	6.48
1	74LS366	2.00	2.00
1	BASE P/CIRCI. 16 PIN	0.50	0.50
1	TARJETA CIRC. IMPRESO	200.00	200.00
4	BASES P/CIRC. 8 PIN	0.25	1.00
1	GABINETE	80.00	80.00
			<u>804.78</u>
	MANO DE OBRA Y DISEÑO		500.00
	TOTAL		<u>1304.78</u>

Sumando las cantidades podemos observar que de material nos da un total N\$ 2774.95, por mano de obra y diseño N\$ 6000.00, que da un gran total de N\$ 8774.59. Hay que recordar que se trata de un prototipo.

Conclusiones

El sistema programable de crioconservación permite lograr una tasa de enfriamiento de $0.1^{\circ}\text{C}/\text{min.}$ a $10^{\circ}\text{C}/\text{min.}$ con un control en su velocidad de desplazamiento constante, hasta finalizar el proceso de congelación.

El costo del sistema es bajo comparado con los métodos utilizados en otros países, que son muy caros, y que consisten en cámaras que controlan los vapores del nitrógeno líquido en el interior de la misma.

El Dewar ó el contenedor utilizado es de importación, y tienen como característica principal su baja pérdida de nitrógeno líquido por evaporación, en México se están fabricando Dewars similares, sería interesante probar el Crioconservador en otros contenedores, ya sean de importación o nacionales, puesto que el sistema está diseñado para ser utilizado en cualquier contenedor.

Se deber hacer una aclaración de suma importancia para obtener una alta viabilidad, no solamente es cuestión del proceso mecánico, que en este caso lo realiza el sistema de Crioconservación, sino de otros factores como son: el tipo de Crioprotectores utilizados, y la cantidad empleada en el proceso de congelamiento, así mismo el tipo de Crioconservador utilizado, ya que son ellos junto con el sistema programable de

muestras, en este caso la amibas. También el número de ampollitas que se colocan en el portavial es importante, pero esto sólo puede ser comprobado por el laboratorista a través de varios experimentos con las muestras. Por lo que el laboratorista debe tener bien definido el comportamiento de las distintas soluciones, de acuerdo a los experimentos desarrollados con anterioridad.

Es importante mantener un registro de enfriamiento de las soluciones para conocer la dinámica de enfriamiento de la muestra. Esto se logra colocando el termopar en uno de los viales que se somete al proceso de congelamiento, y que será desplegado por los *displays* del sistema.

APENDICE " A "

**LISTADO DEL PROGRAMA DEL SISTEMA
OPERATIVO DEL CRIOCONSERVADOR.**

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

INSTITUTO DE FISILOGIA CELULAR

FACULTAD DE INGENIERIA

LISTADO DEL PROGRAMA DEL SISTEMA OPERATIVO
DEL CRIOCONSERVADOR

La programación del sistema operativo del crioconservador ésta dividido en dos partes, que son: el programa principal y la rutina de interrupción, como se explicó en el Capítulo Siete.

En el programa principal se inicializan todos las *interfaces* que intervienen en el diseño de crioconservador, así como se dan los parámetros para llevar acabo el acceso de datos por el usuarios al sistema, facilitando éste por medio de mensajes cuando se comete un error al estar accasando la información.

En listado completo del sistema operativo se muestra a continuación.

1.	0000:	BATECR:	EQU 1000H	;BAND ACC TECL T.CRIT.
2.	0000:	BANVER:	EQU 1354H	;BANDERA DE VERIFICAC.
3.	0000:	CAMRET:	EQU 1356H	;BAND CAMBIO DE RETAR.
4.	0000:	CONESP:	EQU 1357H	;CONTADOR DE ESPERA.
5.	0000:	CONPRO:	EQU 1353H	;BAND CONTROL PROCESO.
6.	0000:	CONTCR:	EQU 1001H	;CONTADOR TEMP CRITICA
7.	0000:	DAENTR:	EQU 1045H	;TASA ENFR REGISTRADO.
8.	0000:	DATSIG:	EQU 111EH	;DATO DE SIGNO.
9.	0000:	DATSUB:	EQU 1021H	;DATO TECLA FUNC SUBIR
10:	0000:	DIGCR1:	EQU 1120H	;DIGITO TEMP CRITICA I
11.	0000:	DIGCR2:	EQU 1121H	;DIGITO TEMP CRIT II
12.	0000:	DIGCR3:	EQU 1122H	;DIGITO TEMP CRIT III
13.	0000:	DIGEN1:	EQU 1129H	;DIGITO TASA ENFR I
14.	0000:	DIGEN2:	EQU 112AH	;DIGITO TASA ENFR II
15.	0000:	DIGEN3:	EQU 112BH	;DIGITO TASA ENFR III
16.	0000:	DGTIN1:	EQU 113EH	;DIGITO TEMP INICIO I
17.	0000:	DGTIN2:	EQU 113FH	;DIGITO TEMP INICIO II
18.	0000:	DIGSUB:	EQU 1136H	;DIGITO SUBE.

19. 0000:	DTUTEI:	EQU 1072H	;DATO TEMP INICIO.
20. 0000:	ERRPUN:	EQU 1056H	;FALTA TECLA PUNTO.
21. 0000:	ERRSIG:	EQU 1055H	;ERROR FALTA TECL SIGN
22. 0000:	EXICER:	EQU 1012H	;EXISTE DATO CERO.
23. 0000:	EXIDTE:	EQU 1017H	;EXISTE DATO TASA ENFR
24. 0000:	EXIPUN:	EQU 1011H	;EXISTE DATO PUNTO.
25. 0000:	EXISIG:	EQU 1002H	;EXISTE DATO SIGNO.
26. 0000:	EXITCR:	EQU 1043H	;EXISTE DATO TEMP CRIT
27. 0000:	EXITEN:	EQU 1048H	;EXISTE DATO TASA ENFR
28. 0000:	EXTETI:	EQU 1071H	;EXISTE TECL TEMP INIC
29. 0000:	EXVATI:	EQU 1072H	;EXISTE VALOR TEMP INI
30. 0000:	FACRET:	EQU 1015H	;FACTOR DE RETARDO.
31. 0000:	FALTCR:	EQU 057BH	;FALTA TEMP CRITICA.
32. 0000:	FALTEN:	EQU 058BH	;FALTA DATO TASA ENFR.
33. 0000:	FINPRO:	EQU 1355H	;BANDERA DE FIN PROCES
34. 0000:	HBCRIT:	EQU 1004H	;HB TEMP CRIT SIN PROC
35. 0000:	HBTEAC:	EQU 1350H	;HB TEMP ACTUALIZADA
36. 0000:	HBTECH:	EQU 1041H	;HB TEMP CRIT REGISTR
37. 0000:	HBTLDE:	EQU 1347H	;HB TEMP LEIDA EN DEC
38. 0000:	HBTESE:	EQU 1190H	;HB TEMPERATURA LEIDA
39. 0000:	HBTDSP:	EQU 1164H	;HB TEMPER DESPLEGADA
40. 0000:	LBCRIT:	EQU 1005H	;LB TEMP CRIT SIN PROC
41. 0000:	LBTEAC:	EQU 1351H	;LB TEMP ACTUALIZADA
42. 0000:	LBTech:	EQU 1042H	;LB TEMP CRIT REGISTR
43. 0000:	LBTese:	EQU 1191H	;LB TEMPERATURA LEIDA
44. 0000:	LBTdsp:	EQU 1166H	;LB TEMPER DESPLEGADA
45. 0000:	LBTLDE:	EQU 1348H	;LB TEMP LEIDA EN DEC
46. 0000:	MELIBR:	EQU 0560H	;DIR TABLA MSG "LIBRE"
47. 0000:	MEPUNT:	EQU 0573H	;TECLEAR PUNTO
48. 0000:	MESIGN:	EQU 056BH	;TECLEAR SIGNO
49. 0000:	MESUBI:	EQU 1130H	;MENSAJE SUBE
50. 0000:	METCRI:	EQU 111BH	;MENSAJE TEMP CRITICA.
51. 0000:	METEMI:	EQU 1138H	;MENSAJE TEMP INICIO.
52. 0000:	METENF:	EQU 1124H	;MENSAJE TASA DE ENFR
53. 0000:	METESE:	EQU 0593H	;MENSAJE TEMP SENSADA
54. 0000:	PROENF:	EQU 1049H	;=40 INICIA PROC ENFR
55. 0000:	REGTSE:	EQU 1160H	;REGISTR TEMP SENSADA
56. 0000:	SIGTES:	EQU 1163H	;SIGNO TEMP SENSADA
57. 0000:	STCPOI:	EQU 1700H	;STACK POINTER
58. 0000:	TAENFR:	EQU 1010H	;TECLA TASA DE ENFRI.
59. 0000:	TECDIS:	EQU 3800H	;DIR HABILIT TECNISP.
60. 0000:	TECSUB:	EQU 1020H	;TECLA DE SUBE
61. 0000:	TECTIN:	EQU 1070H	;TECLA TEMP INICIO.
62. 0000:	TFIENF:	EQU 1550H	;TEMP FINAL DE ENFRIA
63. 0000:	TIERET:	EQU 1199H	;TIEMPO DE RETARDO
64. 0000:	VARSUB:	EQU 1022H	;DATO VALOR SUBE
65. 0000:	VARTEI:	EQU 1046H	;VALOR REGIST TEMP INI

Inicialización del Z80 y las interfaces como, el 8279, y el 8279.

```

66. 0000:                .ORG 0000H
67. 0000: 3E F0          RESET1 LD A,00FOH      ;ESTABILIZACION DEL
68. 0002: 3D            ESTABI DEC A      ;SISTEMA.
69. 0003: C2 02 00      JP NZ,ESTBI
70. 0006: 31 00 17      LD SP,STCPOI
71. 0009: FB            EI                ;HAB. INTERRUPCION
72. 000A: ED 56          IM 1                ;EN MODO UNO
73. 000C: 3E 90          LD A,90H           ;PALABRA DE CONTROL
74. 000E: D3 07          OUT (07),A         ;DE LA INTERFAZ 8255
75. 0010: DD 21 00 38    LD IX,TECDIS
76. 0014: CD 50 04      CALL PR8279        ;INICIALIZA EL 8279.
77. 0017: CD 60 04      CALL LIMPIA        ;LIMPIA PTO DEL 8255.
78. 001A: CD 70 04      CALL LETRER        ;CARGA MENSAJES VARS.
79. 001D: 06 02          LD B,02H
80. 001F: 21 60 05      LD HL,MELIBR
81. 0022: 1E 08          LD E,08H
82. 0024: CD 20 05      LIBREO CALL DESPLE  ;DESPL.MENS. "Libre"
83. 0027: 10 FB          DJNZ LIBREO
84. 0029: C3 B7 07      JP SISOPE          ;CONTINUO SIST. OPER.

```

Rutina de interrupción: Esta tiene como función detectar las diferentes teclas del criocconservador, desplegando los mensajes de error, si la secuencia de acceso de datos no fuera correcta.

```

85. 0038:                .ORG 0038H
86. 0038: F3            DI                ;DESHAB. INTERRUPCION
87. 0039: 3E 40          LD A,40H
88. 003B: 32 01 38      LD (IX+01),A      ;PROGRAM TECLADO
89. 003E: 3A 00 38      LD A,(IX+00)      ;LEE TECLADO
90. 0041: CD A0 05      CALL CAMVAL       ;CAMBIA CODIGO TECLA
91. 0044: FE 0A          CP 0AH            ;RESET DE PROGRAMA?
92. 0046: 28 B8          JR Z,RESET1       ;SI =>SALTA A LOC 00
93. 0048: FE 0E          CP 0EH            ;FUE TECLA EJECUTAR?
94. 004A: 20 30          JR NZ,TCRITO      ;NO =>A PREG X T.CRIT
95. 004C: 3E 40          LD A,40H
96. 004E: 32 49 10      LD (PROENF),A    ;INICIA PROC. ENFR.
97. 0051: 3A 43 10      LD A,(EXITCR)
98. 0054: FE 50          CP 50H            ;EXISTE DATO TEMP.CRI?
99. 0056: 20 0D          JR NZ,SINOTC      ;NO=> A DESP "Error"
100. 0058: 3A 48 10     LD A,(EXITEN)
101. 005B: FE 29          CP 29H            ;EXISTE DATO TASA ENF?
102. 005D: 28 0C          JR Z,FUNCIO       ;SI =>EJECUTA FUNCION
103. 005F: CD 97 07     CALL ERROR1        ;DESPLIEGA "ERROR"
104. 0062: FB            EI                ;DESPL. "FAlt. t.En"
105. 0063: ED 4D          RETI
106. 0065: CD 97 07     SINOTC CALL ERROR1 ;DESPLIEGA "Error"
107. 0068: FB            EI                ;DESPL. "Falt t.cr."
108. 0069: ED 4D          RETI

```

109.	006B:	21 93 05	FUNCIO	LD HL,METESE	
110.	006E:	11 60 11		LD DE,REGTSE	
111.	0071:	01 08 00		LD BC,0008H	
112.	0074:	ED B0		LDIR	
113.	0076:	CD B2 06		CALL FUNC11	;EJECUTA LA FUNCION
114.	0079:	FB		EI	
115.	007A:	ED 4D		RETI	
116.	007C:	79	TCRITO	LD A,C	
117.	007D:	FE 0B		CP 0BH	;FUE TECLA T. CRITICA?
118.	007F:	20 1E		JR NZ,VERITC	;NO=> VERIF.TEMP.CRIT.
119.	0081:	3E 20		LD A,20H	
120.	0083:	32 00 10		LD (BATECR),A	;GUARDA TECLA T.CRIT.
121.	0086:	3E 0F		LD A,0FH	
122.	0088:	32 01 10		LD (CONTCR),A	
123.	008B:	3E 00		LD A,00H	;LIMPIA LAS BANDERAS
124.	008D:	32 10 10		LD (TAENFR),A	;TAENF,EXIPUNT,
125.	0090:	32 11 10		LD (EXIPUN),A	;TECSUBE,DATSUBE Y
126.	0093:	32 20 10		LD (TECSUB),A	;VARSUBE
127.	0096:	32 21 10		LD (DATSUB),A	
128.	0099:	32 22 10		LD (VARSUB),A	
129.	009C:	FB		EI	;DESPL.MENS."t.crit."
130.	009D:	ED 4D		RETI	
131.	009F:	3A 00 10	VERITC	LD A,(BATECR)	
132.	00A2:	FE 20		CP 20H	;SE GUARDO TECLA TCRIT?
133.	00A4:	C2 0F 02		JP NZ,TENFRI	;NO=>A PREGUNT X T.ENF
134.	00A7:	79		LD A,C	
135.	00A8:	FE 10		CP 10H	;FUE TECLA DE SIGNO?
136.	00AA:	20 1F		JR NZ,VERSIG	;NO=>A VERIFICAR SIGNO
137.	00AC:	3E 00		LD A,00H	
138.	00AE:	32 55 10		LD (ERRSIG),A	;NO HAY ERROR SIGNO
139.	00B1:	3E 2A		LD A,2AH	
140.	00B3:	32 02 10		LD (EXISIG),A	;EXISTE DATO SIGNO
141.	00B6:	21 1E 11		LD HL,DATSIG	
142.	00B9:	3E FF		LD A,00FFH	
143.	00BB:	77		LD (HL),A	
144.	00BC:	2C		INC L	
145.	00BD:	3E BF		LD A,00BFH	
146.	00BF:	77		LD (HL),A	
147.	00C0:	3E C0		LD A,00C0H	
148.	00C2:	06 03		LD B,03H	
149.	00C4:	2C	DCEROS	INC L	
150.	00C5:	77		LD (HL),A	
151.	00C6:	10 FC		DJNZ DCEROS	
152.	00C8:	FB	NODATO	EI	;DESPL.MEN."t.cr-000"
153.	00C9:	ED 4D		RETI	
154.	00CB:	3A 02 10	VERSIG	LD A,(EXISIG)	;EXISTE SIGNO?
155.	00CE:	FE 2A		CP 2AH	
156.	00D0:	20 14		JR NZ,TECSIG	;NO => A TECLEAR SIGNO
157.	00D2:	3A 01 10		LD A,(CONTCR)	
158.	00D5:	FE 0F		CP 0FH	;CONTADOR T.CR.= 0 ?
159.	00D7:	20 3A		JR NZ,VEDAT1	;NO=>VERIF.SI 1ER DATO
160.	00D9:	79		LD A,C	;RECUPERA DATO TECLEAD
161.	00DA:	06 0A		LD B,0AH	
162.	00DC:	16 00		LD D,00H	
163.	00DE:	BA	PRIMER	CP D	;SI ES UN DIGITO SALTA
164.	00DF:	28 10		JR Z,ACDAT1	;A ACUMULA 1er. DATO

165.	00E1:	14		INC D	
166.	00E2:	10	FA	DJNZ PRIMER	
167.	00E4:	18	E2	JR NODATO	
168.	00E6:	3E	26	TECSIG LD A,26H	
169.	00E8:	32	55 10	LD (ERRSIG),A	;ERROR: FALTA SIGNO
170.	00EB:	CD	97 07	CALL ERROR1	;Y DESPLIEGA "Error"
171.	00EE:	FB		EI	;DESPLIEGA "tec sign"
172.	00EF:	ED	4D	RETI	
173.	00F1:	32	05 10	ACDAT1 LD (LBCRIT),A	;GUARDA PRIMER DAT S/P.
174.	00F4:	32	42 10	LD (LBTECR),A	;PARTE BAJA DEL DATO
175.	00F7:	FD	21 22 11	LD IY,DIGCR3	;DIRECC DIGITO No.3
176.	00FB:	CD	1B 06	CALL NUMERO	;ASIGNA NUMER X DESPLE
177.	00FE:	3E	00	LD A,00H	
178.	0100:	32	41 10	LD (HBTECR),A	;PARTE ALTA DEL DATO
179.	0103:	3E	01	LD A,01H	
180.	0105:	32	01 10	LD (CONTCR),A	;CONTADOR T.CR = 1
181.	0108:	3E	CO	NCDAT1 LD A,00COH	
182.	010A:	32	20 11	LD (DIGCR1),A	
183.	010D:	32	21 11	LD (DIGCR2),A	
184.	0110:	FB		EI	;DESPL. "t.cr -00n"
185.	0111:	ED	4D	RETI	
186.	0113:	FE	01	VEDAT1 CP 01H	
187.	0115:	20	54	JR NZ,VEDAT2	;VERIF. 1er DATO ACUM.
188.	0117:	79		LD A,C	;RECUPERA DATO TECLEAD
189.	0118:	06	0A	LD B,0AH	
190.	011A:	16	00	LD D,00H	
191.	011C:	BA		SEGUND CP D	;SI ES UN DIGITO SALTA
192.	011D:	28	2D	JR Z,ACDAT2	;A ACUMULA 2o. DATO
193.	011F:	14		INC D	
194.	0120:	10	FA	DJNZ SEGUND	
195.	0122:	FE	0D	CP ODH	;TECLA DE ACUM.DATO?
196.	0124:	20	E2	JR NZ,NCDAT1	;NO => SALTA
197.	0126:	3E	50	SEGDAT LD A,50H	
198.	0128:	32	43 10	LD (EXITCR),A	;HAY DATO COMPLET T.CR
199.	012B:	3E	EF	LD A,00EFH	
200.	012D:	21	1E 11	LD HL,DATSIG	
201.	0130:	77		LD (HL),A	;GUARDA SIGNO
202.	0131:	2C		INC L	
203.	0132:	3E	07	LD A,07H	
204.	0134:	77		LD (HL),A	
205.	0135:	3E	FF	LD A,00FFH	
206.	0137:	2C		INC L	
207.	0138:	06	03	LD B,03H	
208.	013A:	77		LIMID1 LD (HL),A	;LIMPIA LAS LOCS.SIGS.
209.	013B:	2C		INC L	
210.	013C:	10	FC	DJNZ LIMID1	
211.	013E:	3E	00	LD A,00H	
212.	0140:	21	00 10	LD HL,BATECR	
213.	0143:	06	0E	LD B,0EH	
214.	0145:	77		LIMTCR LD (HL),A	;LIMPIA BAND TEC T.CR.
215.	0146:	2C		INC L	;LIMPIA 13 LOCS.SIGS.
216.	0147:	10	FC	DJNZ LIMTCR	
217.	0149:	FB		EI	;DESPLIEGA "Libre"
218.	014A:	ED	4D	RETI	

219.	014C:	3A 22 11	ACDAT2	LD A, (DIGCR3)	
220.	014F:	32 21 11		LD (DIGCR2), A	;REGIS. 2o. DATO
221.	0152:	3A 05 10		LD A, (LBCRIT)	;GUARDA LB T.CR S/PROC
222.	0155:	32 04 10		LD (HBCRIT), A	;EN LA PARTE ALTA
223.	0158:	79		LD A, C	;RECUPERA DATO Y ALMAC
224.	0159:	32 05 10		LD (LBCRIT), A	;EN LA PARTE BAJA
225.	015C:	FD 21 22 11		LD IY, DIGCR3	
226.	0160:	CD 1B 06		CALL NUMERO	
227.	0163:	3E 02	NCDAT2	LD A, 02H	
228.	0165:	32 01 10		LD (CONTCR), A	;CONTADOR T.CR = 2
229.	0168:	FB		EI	;DESPL. "t.cr -0nn".
230.	0169:	ED 4D		RETI	
231.	016B:	FE 02	VEDAT2	CP 02H	;SE ALMACENO 2o.DATO?
232.	016D:	20 63		JR NZ, VEDAT3	;NO=>VERIF 2o DAT ACUM
233.	016F:	79		LD A, C	
234.	0170:	FE 0D		CP 0DH	;TECLA DE ACUM DATO?
235.	0172:	28 17		JR Z, ACUDAT	;SI=>SALT ACUMULA DATO
236.	0174:	3A 04 10		LD A, (HBCRIT)	
237.	0177:	FE 02		CP 02H	
238.	0179:	28 6F		JR Z, ERRORO	;FUERA DE RANGO T.C.
239.	017B:	F2 EA 01		JP P, ERRORO	;FUERA DE RANGO T.C.
240.	017E:	79		LD A, C	;RECUPERA DATO TECLEAD
241.	017F:	06 0A		LD B, 0AH	
242.	0181:	16 00		LD D, 00H	
243.	0183:	BA	TERCER	CP D	;SI ES UN DIGITO SALTA
244.	0184:	28 20		JR Z, ACDAT3	;A ACUMULA 3o. DATO
245.	0186:	14		INC D	
246.	0187:	10 FA		DJNZ TERCER	
247.	0189:	20 D8		JR NZ, NCDAT2	
248.	018B:	3A 04 10	ACUDAT	LD A, (HBCRIT)	
249.	018E:	CB 27		SLA A	
250.	0190:	CB 27		SLA A	
251.	0192:	CB 27		SLA A	
252.	0194:	CB 27		SLA A	
253.	0196:	4F		LD C, A	
254.	0197:	3A 05 10		LD A, (LBCRIT)	
255.	019A:	81		ADD A, C	
256.	019B:	32 42 10		LD (LBTECR), A	;DATO PARTE BAJA T.C.
257.	019E:	3E 00		LD A, 00H	
258.	01A0:	32 41 10		LD (HBTECR), A	;DATO PARTE ALTA T.C.
259.	01A3:	C3 26 01		JP REGDAT	
260.	01A6:	3A 05 10	ACDAT3	LD A, (LBCRIT)	
261.	01A9:	CB 27		SLA A	
262.	01AB:	CB 27		SLA A	
263.	01AD:	CB 27		SLA A	
264.	01AF:	CB 27		SLA A	
265.	01B1:	81		ADD A, C	
266.	01B2:	32 05 10		LD (LBCRIT), A	
267.	01B5:	79		LD A, C	
268.	01B6:	3A 21 11		LD A, (DIGCR2)	
269.	01B9:	32 20 11		LD (DIGCR1), A	
270.	01BC:	3A 22 11		LD A, (DIGCR3)	
271.	01BF:	32 21 11		LD (DIGCR2), A	
272.	01C2:	79		LD A, C	
273.	01C3:	FD 21 22 11		LD IY, DIGCR3	
274.	01C7:	CD 1B 06		CALL NUMERO	;ASIGNA NUMER A DESPLE
275.	01CA:	3E 03		LD A, 03H	

276.	01CC:	32 01 10		LD (CONTCR),A ;CONTADOR T.CR = 3
277.	01CF:	FB		EI ;DESPL. "t.cr -nnn".
278.	01D0:	ED 4D		RETI
279.	01D2:	FE 03	VEDAT3	CP 03H ;3 DATOS?
280.	01D4:	20 17		JR NZ,LIMRAC ;NO=>A LIMP REGS T.CR
281.	01D6:	79		LD A,C ;RECUPERA DATO TECLEAD
282.	01D7:	FE 0D		CP 0DH ;TECLA DE ACUM. DATO?
283.	01D9:	20 12		JR NZ,LIMRAC ;NO=>A LIMP REGS T.CR
284.	01DB:	3A 04 10		LD A,(HBCRIT)
285.	01DE:	32 41 10		LD (HBTECR),A ;DATO PARTE ALTA T.C.
286.	01E1:	3A 05 10		LD A,(LBCRIT)
287.	01E4:	32 42 10		LD (LBTECR),A ;DATO PARTE BAJA T.C.
288.	01E7:	C3 26 01		JP REGDAT
289.	01EA:	CD 97 07	ERRORO	CALL ERROR1
290.	01ED:	3E 0F	LIMRAC	LD A,0FH
291.	01EF:	32 01 10		LD (CONTCR),A ;LIMPIA REGISTROS DE
292.	01F2:	3E 00		LD A,00H ;ACCESO DATOS DE LA
293.	01F4:	32 04 10		LD (HBCRIT),A ;TEMPERATURA CRITICA
294.	01F7:	32 05 10		LD (LBCRIT),A
295.	01FA:	06 03		LD B,03H
296.	01FC:	21 20 11		LD HL,DIGCR1
297.	01FF:	11 40 10		LD DE,1040H
298.	0202:	3E C0	CEROS3	LD A,00COH
299.	0204:	77		LD (HL),A
300.	0205:	3E 00		LD A,00H
301.	0207:	12		LD (DE),A
302.	0208:	1C		INC E
303.	0209:	2C		INC L
304.	020A:	10 F6		DJNZ CEROS3
305.	020C:	FB		EI ;DESPL. "t.cr -000"
306.	020D:	ED 4D		RETI
307.	020F:	79	TENFRI	LD A,C
308.	0210:	FE 0C		CP 0CH ;TECLA DE TASA ENFR?
309.	0212:	20 19		JR NZ,VETAEN ;NO=>VERIF. TASA ENFR.
310.	0214:	3E 21		LD A,21H
311.	0216:	32 10 10		LD (TAENFR),A ;GUARDA TECLA "t.EnFr."
312.	0219:	3E 00		LD A,00H
313.	021B:	32 00 10		LD (BATECR),A
314.	021E:	32 01 10		LD (CONTCR),A
315.	0221:	21 20 10		LD HL,TECSUB
316.	0224:	06 05		LD B,05H
317.	0226:	77	CAMBIO	LD (HL),A
318.	0227:	2C		INC L
319.	0228:	10 FC		DJNZ CAMBIO
320.	022A:	FB		EI ;DESPL.MENS."t.EnFr"
321.	022B:	ED 4D		RETI
322.	022D:	3A 10 10	VETAEN	LD A,(TAENFR)
323.	0230:	FE 21		CP 21H
324.	0232:	C2 3C 03		JR NZ,TINIC1 ;SALTA PREG. t.inic.
325.	0235:	79		LD A,C
326.	0236:	FE 0F		CP 0FH ;TECLA PUNTO "." ?
327.	0238:	20 1E		JR NZ,VERPUN ;NO=> VERIF.DATO PUNT.
328.	023A:	3E 00		LD A,00H
329.	023C:	32 56 10		LD (ERRPUN),A ;NO HAY ERROR DE PUNT.
330.	023F:	3E 25		LD A,25H
331.	0241:	32 11 10		LD (EXIPUN),A ;GUARDA TECLA PUNTO
332.	0244:	3E FF		LD A,00FFH

333.	0246:	32 28 11		LD (1128H),A	
334.	0249:	3E 40		LD A,40H	
335.	024B:	21 29 11		LD HL,DIGEN1	
336.	024E:	77		LD (HL),A	
337.	024F:	3E F7		LD A,00F7H	
338.	0251:	2C		INC L	
339.	0252:	77		LD (HL),A	
340.	0253:	2C		INC L	
341.	0254:	77		LD (HL),A	
342.	0255:	FB		EI	;DESPL. "t.Enf 0. __"
343.	0256:	ED 4D		RETI	
344.	0258:	3A 11 10	VERPUN	LD A,(EXIPUN)	
345.	025B:	FE 25		CP 25H	
346.	025D:	20 1B		JR NZ,TECPUN	;SALT MENS. DE ERROR
347.	025F:	3A 12 10		LD A,(EXICER)	
348.	0262:	FE C0		CP 00COH	;EXISTE DATO CERO
349.	0264:	28 1F		JR Z,DATO19	
350.	0266:	79		LD A,C	
351.	0267:	FE 00		CP 00H	;TECLA " CERO "?
352.	0269:	C2 ED 02		JP NZ,DAT1A9	;NO=> VERIF.DAT 1 a 9
353.	026C:	32 56 10		LD (ERRPUN),A	
354.	026F:	3E C0		LD A,00COH	
355.	0271:	32 12 10		LD (EXICER),A	
356.	0274:	32 2A 11		LD (DIGEN2),A	
357.	0277:	FB		EI	;DESPL. "t.Enf 0.0_"
358.	0278:	ED 4D		RETI	
359.	027A:	3E 27	TECPUN	LD A,27H	
360.	027C:	32 56 10		LD (ERRPUN),A	;HAY ERROR DE PUNTO
361.	027F:	CD 97 07		CALL ERROR1	
362.	0282:	FB		EI	;DESPL. "tEc Punt"
363.	0283:	ED 4D		RETI	
364.	0285:	3A 17 10	DATO19	LD A,(EXIDTE)	;HAY DATO SI O NO
365.	0288:	FE 27		CP 27H	
366.	028A:	28 28		JR Z,NEXT00	
367.	028C:	79		LD A,C	
368.	028D:	FE 00		CP 00H	
369.	028F:	CA 23 03		JP Z,INIDAT	
370.	0292:	06 09		LD B,09H	
371.	0294:	16 01		LD D,01H	
372.	0296:	BA	CMPOTR	CP D	;COMPARA DATO 1A 9
373.	0297:	28 06		JR Z,ALMACE	;SALTA SI ES EL DATO
374.	0299:	14		INC D	
375.	029A:	10 FA		DJNZ CMPOTR	
376.	029C:	C3 23 03		JP INIDAT	
377.	029F:	FD 21 2B 11	ALMACE	LD IY,DIGEN3	
378.	02A3:	CD 1B 06		CALL NUMERO	
379.	02A6:	32 15 10		LD (FACRET),A	;PRIM FACTOR RETARDO
380.	02A9:	21 24 11		LD HL,METENF	;DESPL. "t.Enf 0.0n"
381.	02AC:	3E 27		LD A,27H	
382.	02AE:	32 17 10		LD (EXIDTE),A	
383.	02B1:	FB		EI	
384.	02B2:	ED 4D		RETI	
385.	02B4:	79	NEXT00	LD A,C	
386.	02B5:	FE 0D		CP 0DH	;TECLA DE ACUM. DATO?
387.	02B7:	20 6A		JR NZ,INIDAT	;NO =>SALTA
388.	02B9:	3A 15 10		LD A,(FACRET)	
389.	02BC:	FE 00		CP 00H	

390.	02BE:	28 63		JR Z,INIDAT	
391.	02C0:	FE 10		CP 10H	
392.	02C2:	28 5F		JR Z,INIDAT	
393.	02C4:	3E 29		LD A,29H	
394.	02C6:	32 48 10		LD (EXITEN),A	
395.	02C9:	3A 15 10		LD A,(FACRET)	
396.	02CC:	32 45 10		LD (DAENFR),A	
397.	02CF:	06 0A		LD B,0AH	
398.	02D1:	21 10 10		LD HL,TAENFR	
399.	02D4:	3E 00		LD A,00H	
400.	02D6:	77	LIMITX	LD (HL),A	
401.	02D7:	2C		INC L	
402.	02D8:	10 FC		DJNZ LIMITX	
403.	02DA:	06 03		LD B,03H	
404.	02DC:	3E FF		LD A,00FFH	
405.	02DE:	21 29 11		LD HL,DIGEN1	
406.	02E1:	77	LIMITY	LD (HL),A	
407.	02E2:	2C		INC L	
408.	02E3:	10 FC		DJNZ LIMITY	
409.	02E5:	3E 2F		LD A,2FH	
410.	02E7:	32 28 11		LD (1128H),A	
411.	02EA:	FB		EI	;DESPLIEGA " Libre "
412.	02EB:	ED 4D		RETI	
413.	02ED:	79	DAT1A9	LD A,C	
414.	02EE:	FE 00		CP 00H	
415.	02FO:	28 31		JR Z,INIDAT	
416.	02F2:	3A 17 10		LD A,(EXIDTE)	
417.	02F5:	FE 27		CP 27H	
418.	02F7:	28 BB		JR Z,NEXT00	
419.	02F9:	79		LD A,C	
420.	02FA:	06 09		LD B,09H	
421.	02FC:	16 01		LD D,01H	
422.	02FE:	BA	SIGUE1	CP D	
423.	02FF:	28 05		JR Z,ALMDEC	
424.	0301:	14		INC D	
425.	0302:	10 FA		DJNZ SIGUE1	
426.	0304:	18 1D		JR INIDAT	
427.	0306:	FD 21 2A 11	ALMDEC	LD IY,DIGEN2	
428.	030A:	CD 1B 06		CALL NUMERO	
429.	030D:	0E 10		LD C,10H	
430.	030F:	81		ADD A,C	
431.	0310:	32 15 10		LD (FACRET),A	;PRIMER FACTOR
432.	0313:	3E C0		LD A,00C0H	
433.	0315:	32 2B 11		LD (DIGEN3),A	
434.	0318:	21 24 11		LD HL,METENF	;DESPL. "t.EnF 0.n0"
435.	031B:	3E 27		LD A,27H	
436.	031D:	32 17 10		LD (EXIDTE),A	
437.	0320:	FB		EI	
438.	0321:	ED 4D		RETI	
439.	0323:	CD 97 07	INIDAT	CALL ERROR1	
440.	0326:	06 09		LD B,09H	
441.	0328:	3E 00		LD A,00H	
442.	032A:	21 12 10		LD HL,EXICER	
443.	032D:	77	LIMITW	LD (HL),A	
444.	032E:	2C		INC L	
445.	032F:	10 FC		DJNZ LIMITW	
446.	0331:	3E F7		LD A,00F7H	
447.	0333:	32 2A 11		LD (DIGEN2),A	

448.	0336:	32 2B 11	LD (DIGEN3),A	
449.	0339:	FB	EI	;DESPL. "t.EnF 0. _"
450.	033A:	ED 4D	RETI	
451.	033C:	79	TINIC1 LD A,C	
452.	033D:	FE 11	CP 11H	
453.	033F:	20 08	JR NZ,VETINI	
454.	0341:	3E 15	LD A,15H	;ACUM. TECLA t.inic
455.	0343:	32 70 10	LD (TECTIN),A	
456.	0346:	FB	EI	;DESPLIEGA "t.inic."
457.	0347:	ED 4D	RETI	
458.	0349:	3A 70 10	VETINI LD A,(TECTIN)	
459.	034C:	FE 15	CP 15H	
460.	034E:	C2 D4 03	JP NZ,SUBEOO	
461.	0351:	79	LD A,C	
462.	0352:	FE 00	CP 00H	;TECLA CERO.
463.	0354:	28 63	JR Z,TMPINI	
464.	0356:	3A 71 10	LD A,(EXTETI)	
465.	0359:	FE 16	CP 16H	
466.	035B:	28 30	JR Z,NEXT01	
467.	035D:	79	LD A,C	
468.	035E:	FE 10	CP 10H	;TECLA SIGNO.
469.	0360:	20 12	JR NZ,VESTI1	
470.	0362:	3E E1	LD A,00E1H	
471.	0364:	32 55 10	LD (ERRSIG),A	;ACUM. TECLA SIGNO
472.	0367:	3E BF	LD A,00BFH	
473.	0369:	32 3E 11	LD (DGTIN1),A	
474.	036C:	3E F7	LD A,00F7H	
475.	036E:	32 3F 11	LD (DGTIN2),A	
476.	0371:	FB	EI	
477.	0372:	ED 4D	RETI	
478.	0374:	3A 55 10	VESTI1 LD A,(ERRSIG)	
479.	0377:	FE E1	CP 00E1H	
480.	0379:	20 50	JR NZ,EXTECT	
481.	037B:	79	LD A,C	
482.	037C:	06 09	LD B,09H	
483.	037E:	16 01	LD D,01H	
484.	0380:	BA	PREGUN CP D	
485.	0381:	28 36	JR Z,TMPINI	
486.	0383:	14	INC D	
487.	0384:	10 FA	DJNZ PREGUN	
488.	0386:	3A 71 10	LD A,(EXTETI)	;EXISTE DATO t.inic.
489.	0389:	FE 16	CP 16H	
490.	038B:	20 21	JR NZ,NODATI	
491.	038D:	79	NEXT01 LD A,C	
492.	038E:	FE 0D	CP 0DH	;TECLA ACUMULA DATO
493.	0390:	20 1C	JR NZ,NODATI	
494.	0392:	3A 72 10	LD A,(DTUTEI)	
495.	0395:	32 46 10	LD (VARTEI),A	;DATO T.INIC. FINAL
496.	0398:	3E 00	LD A,00H	
497.	039A:	06 05	LD B,05H	
498.	039C:	21 70 10	LD HL,TECTIN	
499.	039F:	77	SIGUE2 LD (HL),A	
500.	03A0:	2C	INC L	
501.	03A1:	10 FC	DJNZ SIGUE2	
502.	03A3:	3E FF	LD A,00FFH	
503.	03A5:	32 3E 11	LD (DGTIN1),A	
504.	03A8:	32 3F 11	LD (DGTIN2),A	

505.	03AB:	FB		EI	
506.	03AC:	ED	4D	RETI	
507.	03AE:	CD	97 07	NODATI	CALL ERROR1
508.	03B1:	3E	55		LD A,55H
509.	03B3:	32	55 10		LD (ERRSIG),A
510.	03B6:	FB		EI	
511.	03B7:	ED	4D	RETI	
512.	03B9:	32	72 10	TMPINI	LD (DTUTEI),A
513.	03BC:	FD	21 3F 11		LD IY,DGTIN2
514.	03C0:	CD	1B 06		CALL NUMERO
515.	03C3:	3E	16		LD A,16H
516.	03C5:	32	71 10		LD (EXTETI),A
517.	03C8:	FB		EI	
518.	03C9:	ED	4D	RETI	
519.	03CB:	3A	71 10	EXTECT	LD A,(EXTETI)
520.	03CE:	FE	16		CP 16H
521.	03D0:	28	BB		JR Z,NEXT01
522.	03D2:	18	DA		JR NODATI
523.	03D4:	79		SUBEOO	LD A,C
524.	03D5:	FE	12		CP 12H ;TECLA DE SUBE?
525.	03D7:	20	OD		JR NZ,DATOSO ;NO
526.	03D9:	3E	22		LD A,22H
527.	03DB:	32	20 10		LD (TECSUB),A ;TECSUBE=22H
528.	03DE:	3E	25		LD A,25H
529.	03E0:	32	21 10		LD (DATSUB),A ;DATSUB=25H
530.	03E3:	FB		EI	;DESPLIEGA " SUBE "
531.	03E4:	ED	4D	RETI	
532.	03E6:	3A	21 10	DATOSO	LD A,(DATSUB)
533.	03E9:	FE	25		CP 25H
534.	03EB:	20	13		JR NZ,GUARDA
535.	03ED:	79			LD A,C
536.	03EE:	FE	00		CP 00H
537.	03F0:	28	0E		JR Z,GUARDA
538.	03F2:	06	09		LD B,09H
539.	03F4:	16	01		LD D,01H
540.	03F6:	BA		SIGUE3	CP D
541.	03F7:	28	15		JR Z,ACUMUL
542.	03F9:	14			TNC D
543.	03FA:	10	FA		DJNZ SIGUE3
544.	03FC:	FE	0D		CP 0DH ;TECLA DE EJECUTAR?
545.	03FE:	28	1C		JR Z,ACCION
546.	0400:	3E	00	GUARDA	LD A,00H
547.	0402:	32	20 10		LD (TECSUB),A
548.	0405:	32	21 10		LD (DATSUB),A
549.	0408:	CD	97 07		CALL ERROR1
550.	040B:	FB		EI	;DESPLIEGA "Libre"
551.	040C:	ED	4D	RETI	
552.	040E:	32	22 10	ACUMUL	LD (VARSUB),A
553.	0411:	79			LD A,C
554.	0412:	FD	21 36 11		LD IY,DIGSUB
555.	0416:	CD	1B 06		CALL NUMERO
556.	0419:	FB		EI	;DESPLIEGA "SUBE n"
557.	041A:	ED	4D	RETI	
558.	041C:	CD	72 06	ACCION	CALL SUBE11
559.	041F:	06	04		LD B,04H
560.	0421:	21	20 10		LD HL,TECSUB
561.	0424:	3E	00		LD A,00H

```

562. 0426: 77          SIGUE4 LD (HL),A
563. 0427: 2C          INC L
564. 0428: 10 FC      DJNZ SIGUE4
565. 042A: 3E FF      LD A,00FFH
566. 042C: 32 36 11   LD (DIGSUB),A
567. 042F: FB          EI          ;DESPLIEGA "Libre"
568. 0430: ED 4D      RETI

```

La subrutina PR8279 tiene como función inicializar la interfaz TECLADO/DISPLAYS 8279, como tiempo de muestreo, tipo de desplegado y limpiar displays.

```

569. 0450:          .ORG 0450H
570. 0450: 3E 26      PR8279 LD A,26H          ;DIVISOR DEL RELOJ
571. 0452: 32 01 38   LD (IX+01H),A
572. 0455: 3E 00      LD A,00H          ;CONFIGURACION DE LA
573. 0457: 32 01 38   LD (IX+01H),A    ;INTERFAZ 8279
574. 045A: 3E CD      LD A,00CDH       ;RESETEA EL 8279
575. 045C: 32 01 38   LD (IX+01),A
576. 045F: C9          RET

```

La subrutina LIMPIA se encarga de limpiar los puertos del la interfaz del 8255.

```

577. 0460:          .ORG 0460H
578. 0460: 3E 00      LIMPIA LD A,00H          ;LIMPIA LAS SALIDAS
579. 0462: D3 05      OUT (05H),A      ;DE LOS PUERTOS DEL
580. 0464: 3E 00      LD A,00H          ;PPI 8255
581. 0466: D3 06      OUT (06H),A
582. 0468: C9          RET

```

La subrutina LETRER carga los letreros variables que serán utilizados en la programación del sistema.

```

583. 0470:          .ORG 0470H
584. 0470: FD 21 1B 11 LETRER LD IY,METCRI
585. 0474: FD 36 00 A7 LD (IY+00H),00A7H ;t.
586. 0478: FD 36 01 07 LD (IY+01H),07H   ;c
587. 047C: FD 36 02 AF LD (IY+02H),00AFH ;r
588. 0480: FD 36 03 EF LD (IY+03H),00EFH ;i
589. 0484: FD 36 04 07 LD (IY+04H),07H   ;t.
590. 0488: FD 36 05 FF LD (IY+05H),00FFH ;
591. 048C: FD 36 06 FF LD (IY+06H),00FFH ;
592. 0490: FD 36 07 FF LD (IY+07H),00FFH ;
593. 0494: FD 21 24 11 LD IY,METENF
594. 0498: FD 36 00 85 LD (IY+00H),85H   ;t.
595. 049C: FD 36 01 07 LD (IY+01H),07H   ;E
596. 04A0: FD 36 02 AB LD (IY+02H),00ABH ;n
597. 04A4: FD 36 03 8D LD (IY+03H),8DH   ;f
598. 04A8: FD 36 04 2F LD (IY+04H),2FH   ;r.
599. 04AC: FD 36 05 FF LD (IY+05H),00FFH ;

```

```

600. 04B0: FD 36 06 FF      LD (IY+06H),00FFH ;
601. 04B4: FD 36 07 FF      LD (IY+07H),00FFH ;
602. 04B8: FD 21 30 11      LD IY,MESUBI
603. 04BC: FD 36 00 E3      LD (IY+00H),00E3H ;S
604. 04C0: FD 36 01 91      LD (IY+01H),91H ;u
605. 04C4: FD 36 02 83      LD (IY+02H),83H ;b
606. 04C8: FD 36 03 85      LD (IY+03H),85H ;E
607. 04CC: FD 36 04 FF      LD (IY+04H),00FFH ;
608. 04D0: FD 36 05 FF      LD (IY+05H),00FFH ;
609. 04D4: FD 36 06 FF      LD (IY+06H),00FFH ;
610. 04D8: FD 36 07 FF      LD (IY+07H),00FFH ;
611. 04DC: FD 36 08 EF      LD (IY+08H),00EFH ;t.
612. 04E0: FD 36 09 07      LD (IY+09H),07H ;i
613. 04E4: FD 36 0A AB      LD (IY+0AH),00ABH ;n
614. 04E8: FD 36 0B EF      LD (IY+0BH),00EFH ;i
615. 04EC: FD 36 0C 27      LD (IY+0CH),0027H ;n.
616. 04F0: FD 36 0D FF      LD (IY+0DH),00FFH ;
617. 04F4: FD 36 0E FF      LD (IY+0EH),00FFH ;
618. 04F8: FD 36 0F FF      LD (IY+0FH),00FFH ;
619. 04FC: C9                RET

```

En las subrutinas TABLA1 y TABLA2 se generan las constantes de tiempo que serán utilizadas en el proceso de enfriamiento.

```

620. 0501:                .ORG 0501H
621. 0501: 90 80 70 60 TABLA1 .BYTE 90H,80H,70H,60H
622. 0506: 50 40 30 20 10    .BYTE 50H,40H,30H,20H,10H

623. 0511:                .ORG 0511H
624. 0511: 09 08 07 06 TABLA2 .BYTE 09H,08H,07H,06H
625. 0516: 05 04 03 02 01    .BYTE 05H,04H,03H,02H,01H

```

La subrutina DESPLE tiene como función desplegar los mensajes del sistema, dependiendo el acceso o la función que esté realizando.

```

626. 0520:                .ORG 0520H
627. 0520: C5                DESPLE PUSH BC ;RUTINA PARA DESPL.
628. 0521: D5                PUSH DE ;MENSAJES DEL SIST.
629. 0522: E5                PUSH HL ;EN GENERAL.
630. 0523: 43                LD B,E
631. 0524: 3E 90            LD A,90H
632. 0526: 32 01 38          LD (IX+01H),A
633. 0529: 7E                SIGUE5 LD A,(HL)
634. 052A: 32 00 38          LD (IX+00H),A
635. 052D: 2C                INC L
636. 052E: 10 F9            DJNZ SIGUE5
637. 0530: E1                POP HL
638. 0531: D1                POP DE
639. 0532: C1                POP BC
640. 0533: C9                RET

```

En las localidades de memoria 0560H a la 0597H se almacenan los mensajes fijos como son los mensajes de error.

641.	0560:		.ORG 0560H		
642.	0560:	EF C7 83 AF 85 FF	.BYTE 0EFH,0C7H,83H,0AFH,85H,0FFH		
643.	0566:	FF FF FF FF FF 85	.BYTE 0FFH,0FFH,0FFH,0FFH,0FFH,85H		
644.	056C:	87 A7 FF 91 EF 81	.BYTE 87H,0A7H,0FFH,91H,0EFH,81H		
645.	0572:	AB 85 87 A7 FF 8C	.BYTE 0ABH,85H,87H,0A7H,0FFH,8CH		
646.	0578:	E3 AB 07 88 8D C7	.BYTE 0E3H,0ABH,07H,88H,8DH,0C7H		
647.	057E:	07 FF 07 A7 2F AF	.BYTE 07H,0FFH,07H,0A7H,2FH,0AFH		
648.	0584:	85 AF A3 AF FF FF	.BYTE 85H,0AFH,0A3H,0AFH,0FFH,0FFH		
649.	058A:	FF 88 8D C7 07 FF	.BYTE 0FFH,88H,8DH,0C7H,07H,0FFH		
650.	0590:	07 85 2B 91 07 3B	.BYTE 07H,85H,2BH,91H,07H,3BH		
651.	0597:	FF FF FF FF FF	.BYTE 0FFH,0FFH,0FFH,0FFH,0FFH		

Subrutina CAMVAL realiza el cambio de código de las 19 teclas por códigos más sencillos de manejar en el proceso de programación.

652.	05A0:		.ORG 05A0H		
653.	05A0:	16 00	CAMVAL LD D,00H		
654.	05A2:	FE D8	CP 00D8H	;TECLA	00
655.	05A4:	28 5A	JR Z,VALOR1		
656.	05A6:	14	INC D		
657.	05A7:	FE D9	CP 00D9H	;TECLA	01
658.	05A9:	28 55	JR Z,VALOR1		
659.	05AB:	14	INC D		
660.	05AC:	FE D1	CP 00D1H	;TECLA	02
661.	05AE:	28 50	JR Z,VALOR1		
662.	05B0:	14	INC D		
663.	05B1:	FE C9	CP 00C9H	;TECLA	03
664.	05B3:	28 4B	JR Z,VALOR1		
665.	05B5:	14	INC D		
666.	05B6:	FE DA	CP 00DAH	;TECLA	04
667.	05B8:	28 46	JR Z,VALOR1		
668.	05BA:	14	INC D		
669.	05BB:	FE D2	CP 00D2H	;TECLA	05
670.	05BD:	28 41	JR Z,VALOR1		
671.	05BF:	14	INC D		
672.	05C0:	FE CA	CP 00CAH	;TECLA	06
673.	05C2:	28 3C	JR Z,VALOR1		
674.	05C4:	14	INC D		
675.	05C5:	FE DB	CP 00DBH	;TECLA	07
676.	05C7:	28 37	JR Z,VALOR1		
677.	05C9:	14	INC D		
678.	05CA:	FE D3	CP 00D3H	;TECLA	08
679.	05CC:	28 32	JR Z,VALOR1		
680.	05CE:	14	INC D		
681.	05CF:	FE CB	CP 00CBH	;TECLA	09
682.	05D1:	28 2D	JR Z,VALOR1		
683.	05D3:	14	INC D		
684.	05D4:	FE C4	CP 00C4H	;TECLA RESET	0A
685.	05D6:	28 28	JR Z,VALOR1		

```

686. 05D8: 14          INC D
687. 05D9: FE C3      CP 00C3H           ;TECLA t.crit 0B
688. 05DB: 28 23     JR Z,VALOR1
689. 05DD: 14          INC D
690. 05DE: FE C2      CP 00C2H           ;TECLA t.EnFr 0C
691. 05E0: 28 1E     JR Z,VALOR1
692. 05E2: 14          INC D
693. 05E3: FE C1      CP 00C1H           ;TECLA Acum. 0D
694. 05E5: 28 19     JR Z,VALOR1
695. 05E7: 14          INC D
696. 05E8: FE C0      CP 00C0H           ;TECLA EJEC. 0E
697. 05EA: 28 14     JR Z,VALOR1
698. 05EC: 14          INC D
699. 05ED: FE D0      CP 00D0H           ;TECLA PUNTO 0F
700. 05EF: 28 0F     JR Z,VALOR1
701. 05F1: 14          INC D
702. 05F2: FE C8      CP 00C8H           ;TECLA SIGNO 10
703. 05F4: 28 0A     JR Z,VALOR1
704. 05F6: 14          INC D
705. 05F7: FE CC      CP 00CCH           ;TECLA BAJA 11
706. 05F9: 28 05     JR Z,VALOR1
707. 05FB: 14          INC D
708. 05FC: FE D4      CP 00D4H           ;TECLA SUBE 12
709. 05FE: 20 02     JR NZ,REGCAM
710. 0600: 7A          VALOR1 LD A,D
711. 0601: 4F          LD C,A
712. 0602: C9          REGCAM RET

```

Subrutina TIEMP1 su función es dar el tiempo de accionar el motor de pasos y el tiempo de espera para realizar la lectura de la temperatura en el interior de contenedor.

```

713. 0604:           .ORG 0604H
714. 0604: E5          TIEMP1 PUSH HL
715. 0605: D5          PUSH DE
716. 0606: 2E E9      SALID3 LD H,00E9H   ;ROUTINA DE RETARDO
717. 0608: 2E FF      SALID1 LD L,00FFH   ;PARA LAS DIFERENTES
718. 060A: 2D          SALID2 DEC L        ;SUBROUTINAS USADAS
719. 060B: 20 FD      JR NZ,SALID2       ;EN EL SISTEMA
720. 060D: 25          DEC H
721. 060E: 20 F8      JR NZ,SALID1
722. 0610: 1D          DEC E
723. 0611: 20 F3      JR NZ,SALID3
724. 0613: D1          POP DE
725. 0614: E1          POP HL
726. 0615: C9          RET

```

En la subrutina NUMERO realiza la conversión del código de los números para ser desplegados en los displays.

727.	061B:		.ORG 061BH
728.	061B:	47	LD B,A
729.	061C:	FE 00	CP 00H
730.	061E:	28 26	JR Z,DIGITO
731.	0620:	FE 01	CP 01H
732.	0622:	28 26	JR Z,DIGIT1
733.	0624:	FE 02	CP 02H
734.	0626:	28 26	JR Z,DIGIT2
735.	0628:	FE 03	CP 03H
736.	062A:	28 26	JR Z,DIGIT3
737.	062C:	FE 04	CP 04H
738.	062E:	28 26	JR Z,DIGIT4
739.	0630:	FE 05	CP 05H
740.	0632:	28 26	JR Z,DIGIT5
741.	0634:	FE 06	CP 06H
742.	0636:	28 26	JR Z,DIGIT6
743.	0638:	FE 07	CP 07H
744.	063A:	28 26	JR Z,DIGIT7
745.	063C:	FE 08	CP 08H
746.	063E:	28 26	JR Z,DIGIT8
747.	0640:	FE 09	CP 09H
748.	0642:	28 26	JR Z,DIGIT9
749.	0644:	18 26	JR FINNUM
750.	0646:	3E C0	DIGITO LD A,00C0H
751.	0648:	18 22	JR FINNUM
752.	064A:	3E FA	DIGIT1 LD A,00FAH
753.	064C:	18 1E	JR FINNUM
754.	064E:	3E A4	DIGIT2 LD A,00A4H
755.	0650:	18 1A	JR FINNUM
756.	0652:	3E B0	DIGIT3 LD A,00B0H
757.	0654:	18 16	JR FINNUM
758.	0656:	3E 9A	DIGIT4 LD A,9AH
759.	0658:	18 12	JR FINNUM
760.	065A:	3E 91	DIGIT5 LD A,91H
761.	065C:	18 0E	JR FINNUM
762.	065E:	3E 81	DIGIT6 LD A,81H
763.	0660:	18 0A	JR FINNUM
764.	0662:	3E F8	DIGIT7 LD A,00F8H
765.	0664:	18 06	JR FINNUM
766.	0666:	3E 80	DIGIT8 LD A,80H
767.	0668:	18 02	JR FINNUM
768.	066A:	3E 98	DIGIT9 LD A,98H
769.	066C:	FD 77 00	FINNUM LD (IY+00H),A
770.	066F:	78	LD A,B
771.	0670:	C9	RET

En SUBE11 tiene como función subir el portavial de uno a nueve centímetros, tomando como referencia la boca del contenedor

```
772. 0672:                .ORG 0672H
773. 0672: 11 0A 00      SUBE11 LD DE,000AH
774. 0675: CD 9C 06                CALL MULTIO
775. 0678: 45                LD B,L
776. 0679: 16 04                CICLO0 LD D,04H
777. 067B: 3E 01                LD A,01H
778. 067D: 4F                CICLO1 LD C,A
779. 067E: D3 06                OUT (06H),A
780. 0680: 1E 01                LD E,01H
781. 0682: CD 04 06                CALL TIEMP1
782. 0685: 3E 00                LD A,00H
783. 0687: D3 06                OUT (06H),A
784. 0689: 1E 05                LD E,05H
785. 068B: CD 04 06                CALL TIEMP1
786. 068E: 79                LD A,C
787. 068F: CB 27                SLA A
788. 0691: 05                DEC B
789. 0692: 15                DEC D
790. 0693: 20 E8                JR NZ,CICLO1
791. 0695: 10 E2                DJNZ CICLO0
792. 0697: 3E 00                LD A,00H
793. 0699: D3 06                OUT (06H),A
794. 069B: C9                RET
```

En la subrutina MULTIO se realizan las multiplicaciones que llevan acabo en el sistema.

```
795. 069C:                .ORG 069CH
796. 069C: 3A 22 10      MULTIO LD A,(VARSUB)
797. 069F: 4F                LD C,A
798. 06A0: 06 08                LD B,08H
799. 06A2: 21 00 00                LD HL,0000H
800. 06A5: CB 39                MULTI1 SRL C
801. 06A7: 30 01                JR NC,SIGUE6
802. 06A9: 19                ADD HL,DE
803. 06AA: EB                SIGUE6 EX DE,HL
804. 06AB: 29                ADD HL,HL
805. 06AC: EB                EX DE,HL
806. 06AD: 10 F6                DJNZ MULTI1
807. 06AF: C9                RET
```

La subrutina FUNC11 permite inicializar el comienzo de
 sensado y conversión para comenzar el enfriamiento de la muestra.

```

808. 06B2:                .ORG 06B2H
809. 06B2: 21 60 11      FUNC11 LD HL,REGTSE
810. 06B5: 1E 08        LD E,08H
811. 06B7: CD 20 05      CALL DESPLE
812. 06BA: 3E BB        LD A,00BBH ;SIGNO POSITIVO
813. 06BC: 32 53 13      LD (CONPRO),A ;BANDERA DE COMP
814. 06BF: 3E DD        LD A,00DDH
815. 06C1: 32 54 13      LD (BANVER),A
816. 06C4: 3E 20        LD A,20H
817. 06C6: 32 55 13      LD (FINPRO),A ;BANDERA FIN PROC.
818. 06C9: 3E 02        LD A,02H
819. 06CB: 32 56 13      LD (CAMRET),A ;BANDERA DE CAMBIO
820. 06CE: 3E 00        LD A,00H
821. 06D0: 32 57 13      LD (CONESP),A
822. 06D3: 3A 41 10      LD A,(HBTECR) ;HB DE t.crit.
823. 06D6: CB 27        SLA A
824. 06D8: CB 27        SLA A
825. 06DA: CB 27        SLA A
826. 06DC: CB 27        SLA A
827. 06DE: 4F          LD C,A
828. 06DF: 3A 42 10      LD A,(LBTECR) ;HB DE t.crit.
829. 06E2: CB 3F        SRL A
830. 06E4: CB 3F        SRL A
831. 06E6: CB 3F        SRL A
832. 06E8: CB 3F        SRL A
833. 06EA: 81          ADD A,C
834. 06EB: 32 41 10      LD (HBTECR),A
835. 06EE: 3A 42 10      LD A,(LBTECR)
836. 06F1: CB 27        SLA A
837. 06F3: CB 27        SLA A
838. 06F5: CB 27        SLA A
839. 06F7: CB 27        SLA A
840. 06F9: 32 42 10      LD (LBTECR),A
841. 06FC: 3E 01        LD A,01H
842. 06FE: 32 99 11      LD (TIERET),A ;BANDERA RETARDO
843. 0701: FD 21 00 78   LD IY,7800H
844. 0705: 3E 00        LD A,00H
845. 0707: FD 77 00      LD (IY+00H),A ;INICIA CONVERSION
846. 070A: 3E 19        LD A,19H ;RETARDO DE 105 ÌS
847. 070C: 3D          READ00 DEC A
848. 070D: 20 FD        JR NZ,READ00
849. 070F: 06 0A        LD B,0AH
850. 0711: FD 7E 00      LECTUO LD A,(IY+00H) ;LEE LOS BITS LSB.
851. 0714: 32 91 11      LD (LBTESE),A ;ALMACENA BITS LSB.
852. 0717: FD 7E 00      LD A,(IY+00H)
853. 071A: 05          DEC B
854. 071B: 20 F4        JR NZ,LECTUO
855. 071D: 32 90 11      LD (HBTESE),A ;ALMACENA EL MSB.
856. 0720: CD 50 08      CALL TEMPER
857. 0723: 3A 48 13      LD A,(LBTLDE)

```

858.	0726:	32 51 13		LD (LBTEAC),A ;ACTUALIZA INFOR TEMP.
859.	0729:	3A 47 13		LD A,(HBTLDE)
860.	072C:	32 50 13		LD (HBTEAC),A ;ACTUALIZA INFOR TEMP.
861.	072F:	21 60 11		LD HL,REGTSE
862.	0732:	1E 08		LD E,08H
863.	0734:	CD 20 05		CALL DESPLE
864.	0737:	16 04	SIGUE8	LD D,04H
865.	0739:	3E 08		LD A,08H
866.	073B:	4F	SIGUE7	LD C,A
867.	073C:	D3 06		OUT (06H),A
868.	073E:	1E 01		LD E,01H
869.	0740:	CD 04 06		CALL TIEMP1
870.	0743:	3E 00		LD A,00H
871.	0745:	D3 06		OUT (06H),A
872.	0747:	3A 99 11		LD A,(TIERET)
873.	074A:	5F		LD E,A
874.	074B:	CD 04 06		CALL TIEMP1
875.	074E:	FD 21 00 78		LD IY,7800H
876.	0752:	3E 00		LD A,00H
877.	0754:	FD 77 00		LD (IY+00H),A ;INICIA LA CONVERSION
878.	0757:	3E 19		LD A,19H ;RETARDO DE 150 IS
879.	0759:	3D	READ11	DEC A
880.	075A:	20 FD		JR NZ,READ11
881.	075C:	06 0A		LD B,0AH
882.	075E:	FD 7E 00	LECTU1	LD A,(IY+00H)
883.	0761:	32 91 11		LD (LBTESE),A
884.	0764:	FD 7E 00		LD A,(IY+00H)
885.	0767:	05		DEC B
886.	0768:	20 F4		JR NZ ,LECTU1
887.	076A:	32 90 11		LD (HBTESE),A
888.	076D:	CD 50 08		CALL TEMPER
889.	0770:	21 60 11		LD HL,REGTSE
890.	0773:	1E 08		LD E,08H
891.	0775:	CD 20 05		CALL DESPLE
892.	0778:	CD A4 09		CALL COMPAR
893.	077B:	3A 55 13		LD A,(FINPRO)
894.	077E:	FE EE		CP 00EEH
895.	0780:	28 08		JR Z,LIBRE1 ;ES 0 SALE DE FUNC.
896.	0782:	79		LD A,C
897.	0783:	CB 3F		SRL A
898.	0785:	15		DEC D
899.	0786:	20 B3		JR NZ,SIGUE7
900.	0788:	18 AD		JR SIGUE8
901.	078A:	3E 0F	LIBRE1	LD A,0FH
902.	078C:	06 0F		LD B,0FH
903.	078E:	21 40 10		LD HL,1040H
904.	0791:	77	BORRAO	LD (HL),A
905.	0792:	2C		INC L
906.	0793:	10 FC		DJNZ BORRAO
907.	0795:	C9		RET

En la subrutina ERROR1 se despliega el mensaje de ERROR con duración de cinco segundos.

```

908. 0797:                .ORG 0797H
909. 0797: D5             ERROR1 PUSH DE
910. 0798: E5             PUSH HL
911. 0799: C5             PUSH BC
912. 079A: 21 83 05      LD HL,0583H ;MENSAJE DE ERROR
913. 079D: 1E 08         LD E,08H
914. 079F: CD 20 05      CALL DESPLE
915. 07A2: 16 08         LD D,08H
916. 07A4: 26 E9         SALID6 LD H,00E9H
917. 07A6: 2E FF         SALID5 LD L,00FFH
918. 07A8: 2D           SALID4 DEC L
919. 07A9: 20 FD         JR NZ,SALID4
920. 07AB: 25           DEC H
921. 07AC: 20 F8         JR NZ,SALID5
922. 07AE: 15           DEC D
923. 07AF: 20 F3         JR NZ,SALID6
924. 07B1: C1           POP BC
925. 07B2: E1           POP HL
926. 07B3: D1           POP DE
927. 07B4: C9           RET

```

Continuación del programa principal.

```

928. 07B7:                .ORG 07B7H
929. 07B7: 21 00 10      SISOPE LD HL,BATECR
930. 07BA: 06 7F         LD B,7FH
931. 07BC: 3E 00         LD A,00H
932. 07BE: 77           BORRA1 LD (HL),A
933. 07BF: 2C           INC L
934. 07C0: 10 FC         DJNZ BORRA1
935. 07C2: 21 60 05      LD HL,MELIBR
936. 07C5: 1E 08         CICLOP LD E,08H
937. 07C7: CD 20 05      CALL DESPLE
938. 07CA: 3A 00 10      LD A,(BATECR)
939. 07CD: FE 20         CP 20H
940. 07CF: 20 13         JR NZ,CICLO2
941. 07D1: 3A 55 10      LD A,(ERRSIG)
942. 07D4: FE 26         CP 26H
943. 07D6: 20 06         JR NZ,MENSAJETCR
944. 07D8: 21 6B 05      LD HL,MESIGN ;DESPLIEGA"tEc SiGn."
945. 07DB: C3 C5 07      JP CICLOP
946. 07DE: 21 1B 11      MSGTCR LD HL,METCRI ;DESPLIEGA "t.crit."
947. 07E1: C3 C5 07      JP CICLOP
948. 07E4: 3A 10 10      CICLO2 LD A,(TAENFR)
949. 07E7: FE 21         CP 21H
950. 07E9: C2 FF 07      JP NZ,CICLO3
951. 07EC: 3A 56 10      LD A,(ERRPUN)
952. 07EF: FE 27         CP 27H
953. 07F1: 20 06         JR NZ,MSGENF
954. 07F3: 21 73 05      LD HL,MEPUNT ;DESPLIEGA"tEc Punt."

```

```

955. 07F6: C3 C5 07          JP CICLOP
956. 07F9: 21 24 11          MSGENF LD HL,METENF ;DESPLIEGA "t.EnFr."
957. 07FC: C3 C5 07          JP CICLOP
958. 07FF: 21 30 11          CICLO3 LD HL,MESUBI ;DESPLIEGA "SubE "
959. 0802: 3A 20 10          LD A, (TECSUB)
960. 0805: FE 22             CP 22H
961. 0807: CA C5 07          JP Z,CICLOP
962. 080A: 21 38 11          LD HL,METEMI ;DESPLIEGA "bAJA "
963. 080D: 3A 70 10          LD A, (TECTIN)
964. 0810: FE 15             CP 15H
965. 0812: 20 0D             JR NZ,CICLO4
966. 0814: 3A 55 10          LD A, (ERRSIG)
967. 0817: FE 55             CP 55H
968. 0819: 20 AA             JR NZ,CICLOP
969. 081B: 21 6B 05          LD HL,MESIGN
970. 081E: C3 C5 07          JP CICLOP
971. 0821: 3A 49 10          CICLO4 LD A, (PROENF)
972. 0824: FE 40             CP 40H ;PROCESO?
973. 0826: 20 1C             JR NZ,MSGLIB ;NO
974. 0828: 21 7B 05          LD HL,FALTCR ;DESPL. " FAlt.t.cr."
975. 082B: 3A 43 10          LD A, (EXITCR)
976. 082E: FE 50             CP 50H
977. 0830: C2 C5 07          JP NZ,CICLOP
978. 0833: 21 8B 05          LD HL,FALTEN ;DESPL. " FAlt.t.En."
979. 0836: 3A 48 10          LD A, (EXITEN)
980. 0839: FE 29             CP 29H
981. 083B: C2 C5 07          JP NZ,CICLOP
982. 083E: 21 93 05          LD HL,METESE ;DESPLIEGA "Funcion"
983. 0841: C3 C5 07          JP CICLOP
984. 0844: 21 60 05          MSGLIB LD HL,MELIBR ;DESPLIEGA " Libre "
985. 0847: C3 C5 07          JP CICLOP

```

En la subrutina TEMPER se lleva acabo la conversión de la temperatura sensada, de código hexadecimal a código decimal.

```

986. 0850:                .ORG 0850H
987. 0850: E5             TEMPER PUSH HL
988. 0851: D5             PUSH DE
989. 0852: C5             PUSH BC
990. 0853: FD E5          PUSH IY
991. 0855: 3A 90 11        LD A, (HBTESE)
992. 0858: CB 67           BIT 4,A
993. 085A: 28 14           JR Z,ASIGNO
994. 085C: EE FF           XOR 00FFH
995. 085E: 32 90 11        LD (HBTESE),A
996. 0861: 3A 91 11        LD A, (LBTESE)
997. 0864: EE FF           XOR 00FFH
998. 0866: 32 91 11        LD (LBTESE),A
999. 0869: 3E BF           LD A,00BFH ;GUARDA SIGNO
1000. 086B: 32 63 11       LD (SIGTES),A ;NEGATIVO " - "
1001. 086E: 18 05          JR PROCES
1002. 0870: 3E FF           ASIGNO LD A,00FFH
1003. 0872: 32 63 11       LD (SIGTES),A
1004. 0875: 3A 90 11       PROCES LD A, (HBTESE)
1005. 0878: 67             LD H,A ;VALOR REAL DE (MSB).

```

1006.	0879:	3A	91	11	LD A, (LBTESE)
1007.	087C:	6F			LD L,A ;VALOR DE L(LSB).
1008.	087D:	CD	DA	08	CALL CONVHD
1009.	0880:	FD	21	48 13	LD IY, LBTLDE
1010.	0884:	FD	5E	00	LD E, (IY+00H)
1011.	0887:	7B			LD A,E
1012.	0888:	CB	3F		SRL A
1013.	088A:	CB	3F		SRL A
1014.	088C:	CB	3F		SRL A
1015.	088E:	CB	3F		SRL A
1016.	0890:	FD	21	66 11	LD IY, LBTDSP
1017.	0894:	CD	1B	06	CALL NUMERO
1018.	0897:	FD	7E	00	LD A, (IY+00H)
1019.	089A:	CB	BF		RES 7,A
1020.	089C:	FD	77	00	LD (IY+00H),A
1021.	089F:	FD	23		INC IY
1022.	08A1:	7B			LD A,E
1023.	08A2:	CB	BF		RES 7,A
1024.	08A4:	CB	B7		RES 6,A
1025.	08A6:	CB	AF		RES 5,A
1026.	08A8:	CB	A7		RES 4,A
1027.	08AA:	CD	1B	06	CALL NUMERO
1028.	08AD:	FD	21	47 13	LD IY, HBTLDLDE
1029.	08B1:	FD	5E	00	LD E, (IY+00H)
1030.	08B4:	7B			LD A,E
1031.	08B5:	CB	3F		SRL A
1032.	08B7:	CB	3F		SRL A
1033.	08B9:	CB	3F		SRL A
1034.	08BB:	CB	3F		SRL A
1035.	08BD:	FD	21	64 11	LD IY, HBTDSP
1036.	08C1:	CD	1B	06	CALL NUMERO
1037.	08C4:	FD	23		INC IY
1038.	08C6:	7B			LD A,E
1039.	08C7:	CB	BF		RES 7,A
1040.	08C9:	CB	B7		RES 6,A
1041.	08CB:	CB	AF		RES 5,A
1042.	08CD:	CB	A7		RES 4,A
1043.	08CF:	CD	1B	06	CALL NUMERO
1044.	08D2:	FD	E1		POP IY
1045.	08D4:	C1			POP BC
1046.	08D5:	D1			POP DE
1047.	08D6:	E1			POP HL
1048.	08D7:	C9			RET

En las Subrutinas auxiliares de la de TEMPER se realizaran la conversión de la temperatura.

1049.	08DA:				.ORG 08DAH
1050.	08DA:	FD	21	44 13	CONVHD LD IY,1344H
1051.	08DE:	7C			LD A,H
1052.	08DF:	FE	00		CP 00H
1053.	08E1:	20	14		JR NZ,ALFA00
1054.	08E3:	7D			LD A,L
1055.	08E4:	CB	7F		BIT 7,A

1056.	08E6:	20	0A		JR NZ,CONT64
1057.	08E8:	CD	20	09	CALL CONTIX
1058.	08EB:	FD	75	04	LD (IY+04H),L
1059.	08EE:	FD	74	03	LD (IY+03H),H
1060.	08F1:	C9			RET
1061.	08F2:	CD	20	09	CONT64 CALL CONTIX
1062.	08F5:	18	0C		JR COLOCK
1063.	08F7:	0E	64		ALFA00 LD C,64H
1064.	08F9:	CD	7B	09	CALL DIVIS4
1065.	08FC:	55			LD D,L
1066.	08FD:	1E	00		LD E,00H
1067.	08FF:	6C			LD L,H
1068.	0900:	26	00		LD H,00H
1069.	0902:	19			ADD HL,DE
1070.	0903:	FD	75	04	COLOCK LD (IY+04H),L
1071.	0906:	FD	74	03	LD (IY+03H),H
1072.	0909:	FD	6E	04	LD L,(IY+04H)
1073.	090C:	26	00		LD H,00H
1074.	090E:	CD	20	09	CALL CONTIX
1075.	0911:	FD	75	04	LD (IY+04H),L
1076.	0914:	FD	6E	03	LD L,(IY+03H)
1077.	0917:	CD	20	09	CALL CONTIX
1078.	091A:	FD	75	03	LD (IY+03H),L
1079.	091D:	C9			RET
1080.	0920:				.ORG 0920H
1081.	0920:	7D			CONTIX LD A,L
1082.	0921:	CB	7F		BIT 7,A
1083.	0923:	20	1F		JR NZ,ALFA01
1084.	0925:	FE	0A		CP 0AH
1085.	0927:	FA	79	09	JP M,FINCON
1086.	092A:	FE	64		CP 64H
1087.	092C:	F2	44	09	JP P,ALFA01
1088.	092F:	0E	0A		LD C,0AH
1089.	0931:	CD	7B	09	CALL DIVIS4
1090.	0934:	5D			LD E,L
1091.	0935:	CB	23		SLA E
1092.	0937:	CB	23		SLA E
1093.	0939:	CB	23		SLA E
1094.	093B:	CB	23		SLA E
1095.	093D:	16	00		LD D,00H
1096.	093F:	6C			LD L,H
1097.	0940:	26	00		LD H,00H
1098.	0942:	19			ADD HL,DE
1099.	0943:	C9			RET
1100.	0944:	0E	64		ALFA01 LD C,64H
1101.	0946:	CD	7B	09	CALL DIVIS4
1102.	0949:	7C			LD A,H
1103.	094A:	FE	0A		CP 0AH
1104.	094C:	FA	72	09	JP M,SUCONO
1105.	094F:	7D			LD A,L
1106.	0950:	32	00	14	LD (1400H),A
1107.	0953:	6C			LD L,H
1108.	0954:	26	00		LD H,00H
1109.	0956:	0E	0A		LD C,0AH
1110.	0958:	CD	7B	09	CALL DIVIS4
1111.	095B:	5D			LD E,L
1112.	095C:	CB	23		SLA E
1113.	095E:	CB	23		SLA E

1114.	0960:	CB 23		SLA E
1115.	0962:	CB 23		SLA E
1116.	0964:	16 00		LD D,00H
1117.	0966:	6C		LD L,H
1118.	0967:	26 00		LD H,00H
1119.	0969:	19		ADD HL,DE
1120.	096A:	3A 00 14		LD A,(1400H)
1121.	096D:	57		LD D,A
1122.	096E:	1E 00		LD E,00H
1123.	0970:	19		ADD HL,DE
1124.	0971:	C9		RET
1125.	0972:	55	SUCONO	LD D,L
1126.	0973:	1E 00		LD E,00H
1127.	0975:	6C		LD L,H
1128.	0976:	26 00		LD H,00H
1129.	0978:	19		ADD HL,DE
1130.	0979:	C9	FINCON	RET
1131.	097B:			.ORG 097BH
1132.	097B:	06 08	DIVIS4	LD B,08H
1133.	097D:	51		LD D,C
1134.	097E:	1E 00		LD E,00H
1135.	0980:	29	NXTBIT	ADD HL,HL
1136.	0981:	AF		XOR A
1137.	0982:	ED 52		SBC HL,DE
1138.	0984:	23		INC HL
1139.	0985:	30 02		JR NC,NXTBI1
1140.	0987:	19		ADD HL,DE
1141.	0988:	2B		DEC HL
1142.	0989:	10 F5	NXTBI1	DJNZ NXTBIT
1143.	098B:	C9		RET
1144.	098D:			.ORG 098DH
1145.	098D:	21 00 00	DIVIS1	LD HL,0000H
1146.	0990:	3E 11		LD A,11H
1147.	0992:	B7	DIVIS2	OR A
1148.	0993:	EB	DIVIS3	EX DE,HL
1149.	0994:	ED 6A		ADC HL,HL
1150.	0996:	EB		EX DE,HL
1151.	0997:	3D		DEC A
1152.	0998:	C8		RET Z
1153.	0999:	ED 6A		ADC HL,HL
1154.	099B:	ED 42		SBC HL,BC
1155.	099D:	3F		CCF
1156.	099E:	38 F3		JR C,DIVIS3
1157.	09A0:	09		ADD HL,BC
1158.	09A1:	18 EF		JR DIVIS2
1159.	09A4:			.ORG 09A4H
1160.	09A4:	FD E5	COMPAR	PUSH IY
1161.	09A6:	D5		PUSH DE
1162.	09A7:	C5		PUSH BC
1163.	09A8:	E5		PUSH HL
1164.	09A9:	3A 53 13		LD A,(CONPRO)
1165.	09AC:	FE BB		CP 00BBH ;TEMP. POSITIVA?
1166.	09AE:	20 35		JR NZ,CAMTIE ;NO=>CAMBIA TIEMP.

1167.	09B0:	3A 63 11	LD A, (SIGTES)
1168.	09B3:	FE BF	CP 00BFH ;TEMP. NEGATIVA?
1169.	09B5:	C2 8D 0A	JP NZ, CAMB11 ;NO
1170.	09B8:	3A 47 13	LD A, (HBTLDE) ;TEMP LEIDA HB.
1171.	09BB:	57	LD D, A
1172.	09BC:	3A 48 13	LD A, (LBTLDE) ;TEMP LEIDA LB.
1173.	09BF:	5F	LD E, A
1174.	09C0:	26 00	LD H, 00H
1175.	09C2:	3A 46 10	LD A, (VARTEI) ;TEMP INICIO PRO.
1176.	09C5:	CB 27	SLA A
1177.	09C7:	CB 27	SLA A
1178.	09C9:	CB 27	SLA A
1179.	09CB:	CB 27	SLA A
1180.	09CD:	6F	LD L, A
1181.	09CE:	ED 52	SBC HL, DE
1182.	09D0:	F2 8D 0A	JP P, CAMB11
1183.	09D3:	3E CC	LD A, 00CCH ;TEMP NEGATIVA
1184.	09D5:	32 53 13	LD (CONPRO), A
1185.	09D8:	3A 45 10	LD A, (DAENFR)
1186.	09DB:	6F	LD L, A
1187.	09DC:	26 05	LD H, 05H
1188.	09DE:	7E	LD A, (HL)
1189.	09DF:	32 99 11	LD (TIERET), A
1190.	09E2:	C3 8D 0A	JP CAMB11
1191.	09E5:	FE CC	CAMTIE CP 00CCH ;TEMP NEGATIVA
1192.	09E7:	20 1C	JR NZ, TERFIN
1193.	09E9:	3A 41 10	LD A, (HBTECR)
1194.	09EC:	67	LD H, A
1195.	09ED:	3A 42 10	LD A, (LBTECR)
1196.	09F0:	6F	LD L, A
1197.	09F1:	3A 47 13	LD A, (HBTLDE)
1198.	09F4:	57	LD D, A
1199.	09F5:	3A 48 13	LD A, (LBTLDE)
1200.	09F8:	5F	LD E, A
1201.	09F9:	ED 52	SBC HL, DE
1202.	09FB:	F2 31 0A	JP P, MODTIE
1203.	09FE:	3A 57 13	LD A, (CONESP)
1204.	0A01:	FE 02	CP 02H
1205.	0A03:	20 28	JR NZ, ESPERA
1206.	0A05:	21 50 15	TERFIN LD HL, TFIENF
1207.	0A08:	3E FF	LD A, 00FFH
1208.	0A0A:	32 53 13	LD (CONPRO), A
1209.	0A0D:	3E 01	LD A, 01H
1210.	0A0F:	32 99 11	LD (TIERET), A
1211.	0A12:	3A 47 13	LD A, (HBTLDE)
1212.	0A15:	57	LD D, A
1213.	0A16:	3A 48 13	LD A, (LBTLDE)
1214.	0A19:	5F	LD E, A
1215.	0A1A:	ED 52	SBC HL, DE
1216.	0A1C:	F2 8D 0A	JP P, CAMB11
1217.	0A1F:	3A 55 13	LD A, (FINPRO)
1218.	0A22:	3D	DEC A
1219.	0A23:	20 02	JR NZ, DEPRO1
1220.	0A25:	3E EE	LD A, 00EEH
1221.	0A27:	32 55 13	DEPRO1 LD (FINPRO), A
1222.	0A2A:	C3 8D 0A	JP CAMB11
1223.	0A2D:	3C	ESPERA INC A
1224.	0A2E:	32 57 13	LD (CONESP), A

1225.	0A31:	3A	47	13	MODTIE	LD A, (HBTLDE)
1226.	0A34:	6F				LD H, A
1227.	0A35:	3A	48	13		LD A, (LBTLDE)
1228.	0A38:	6F				LD L, A
1229.	0A39:	3A	50	13		LD A, (HBTEAC)
1230.	0A3C:	57				LD D, A
1231.	0A3D:	3A	51	13		LD A, (LBTEAC)
1232.	0A40:	5F				LD E, A
1233.	0A41:	ED	52			SBC HL, DE
1234.	0A43:	11	14	00		LD DE, 0014H
1235.	0A46:	ED	52			SBC HL, DE
1236.	0A48:	FA	8D	0A		JP M, CAMB11
1237.	0A4B:	3A	56	13		LD A, (CAMRET)
1238.	0A4E:	3D				DEC A
1239.	0A4F:	28	05			JR Z, DECREM
1240.	0A51:	32	56	13		LD (CAMRET), A
1241.	0A54:	18	37			JR CAMB11
1242.	0A56:	26	05		DECREM	LD H, 05H
1243.	0A58:	3A	45	10		LD A, (DAENFR)
1244.	0A5B:	FE	01			CP 01H
1245.	0A5D:	28	16			JR Z, NODECR
1246.	0A5F:	FE	11			CP11H
1247.	0A61:	28	20			JR Z, DECREG
1248.	0A63:	3D				DEC A
1249.	0A64:	32	45	10		LD (DAENFR), A
1250.	0A67:	6F				LD L, A
1251.	0A68:	26	05			LD H, 05H
1252.	0A6A:	7E				LD A, (HL)
1253.	0A6B:	32	99	11		LD (TIERET), A
1254.	0A6E:	3E	02			LD A, 02H
1255.	0A70:	32	5613			LD (CAMRET), A
1256.	0A73:	1818				JR CAMB11
1257.	0A75:	6F			NODECR	LD L, A
1258.	0A76:	3E	02			LD A, 02H
1259.	0A78:	32	56	13		LD (CAMRET), A
1260.	0A7B:	26	05			LD H, 05H
1261.	0A7D:	7E				LD A, (HL)
1262.	0A7E:	32	99	11		LD (TIERET), A
1263.	0A81:	18	0A			JR CAMB11
1264.	0A83:	3E	09		DECREG	LD A, 09H
1265.	0A85:	32	45	10		LD (DAENFR), A
1266.	0A88:	6F				LD L, A
1267.	0A89:	7E				LD A, (HL)
1268.	0A8A:	32	99	11		LD (TIERET), A
1269.	0A8D:	3A	48	13	CAMB11	LD A, (LBTLDE)
1270.	0A90:	32	51	13		LD (LBTEAC), A
1271.	0A93:	3A	47	13		LD A, (HBTLDE)
1272.	0A96:	32	50	13		LD (HBTEAC), A
1273.	0A99:	E1				POP HL
1274.	0A9A:	C1				POP BC
1275.	0A9B:	D1				POP DE
1276.	0A9C:	FD	E1			POP IY
1277.	0A9E:	C9				RET

Línea	Identificador	Valor
558	ACCION	041C
173	ACDAT1	00F1
219	ACDAT2	014C
260	ACDAT3	01A6
248	ACUDAT	018B
552	ACUMUL	040E
1063	ALFA00	08F7
1100	ALFA01	0944
377	ALMACE	029F
427	ALMDEC	0306
1002	ASIGNO	0870
2	BANVER	1354
1	BATECR	1000
904	BORRA0	0791
932	BORRA1	07BE
317	CAMBIO	0226
1269	CAMB11	0A8D
3	CAMRET	1356
1191	CAMTIE	09E5
653	CAMVAL	05A0
298	CEROS3	0202
776	CICLO0	0679
778	CICLO1	067D
948	CICLO2	07E4
958	CICLO3	07FF
971	CICLO4	0821
936	CICLOP	07C5
372	CMPOTR	0296
1070	COLOCX	0903
1160	COMPAR	09A4
4	CONESP	1357
5	CONPRO	1353
1061	CONT64	08F2
6	CONTCR	1001
1081	CONTIX	0920
1050	CONVHD	08DA
7	DAENFR	1045
413	DAT1A9	02ED
364	DATO19	0285
532	DATOS0	03E6
8	DATSIG	111E
9	DATSUB	1021
149	DCEROS	00C4
1264	DECREG	0A83
1242	DECREM	0A56
1221	DEPRO1	0A27
627	DESPL1	0520
16	DGTIN1	113E
17	DGTIN2	113F
10	DIGCR1	1120
11	DIGCR2	1121
12	DIGCR3	1122
13	DIGEN1	1129
14	DIGEN2	112A
15	DIGEN3	112B

Línea	Identificador	Valor
750	DIGITO	0646
752	DIGIT1	064A
754	DIGIT2	064E
756	DIGIT3	0652
758	DIGIT4	0656
760	DIGIT5	065A
762	DIGIT6	065E
764	DIGIT7	0662
766	DIGIT8	0666
768	DIGIT9	066A
18	DIGSUB	1136
1145	DIVIS1	098D
1147	DIVIS2	0992
1148	DIVIS3	0993
1132	DIVIS4	097B
19	DTUTEI	1072
289	ERROR0	01EA
909	ERROR1	0797
20	ERRPUN	1056
21	ERRSIG	1055
1223	ESPERA	0A2D
68	ESTABI	0002
22	EXICER	1012
23	EXIDTE	1017
24	EXIPUN	1011
25	EXISIG	1002
26	EXITCR	1043
27	EXITEN	1048
519	EXPECT	03CB
28	EXTETI	1071
29	EXVATI	1072
30	FACRET	1015
31	FALTCR	057B
32	FALTEN	058B
1130	FINCON	0979
769	FINNUM	066C
33	FINPRO	1355
109	FUNCIO	006B
809	FUNCI1	06B2
546	GUARDA	0400
34	HBCRIT	1004
39	HBTDSP	1164
35	HBTEAC	1350
36	HBTECR	1041
38	HBTESE	1190
37	HBTLDE	1347
439	INIDAT	0323
40	LBCRIT	1005
44	LBTDSP	1166
41	LBTEAC	1351
42	LBTECR	1042
43	LBTESE	1191
45	LBTLDE	1348
850	LECTUO	0711
882	LECTU1	075E

Línea	Identificador	Valor
584	LETRER	0470
82	LIBRE0	0024
901	LIBRE1	078A
208	LIMID1	013A
443	LIMITW	032D
400	LIMITX	02D6
406	LIMITY	02E1
578	LIMPIA	0460
290	LIMRAC	01ED
214	LIMTCR	0145
46	MELIBR	0560
47	MEPUNT	0573
48	MESIGN	056B
49	MESUBI	1130
50	METCRI	111B
51	METEMI	1138
52	METENF	1124
53	METESE	0593
1225	MODTIE	0A31
956	MSGENF	07F9
984	MSGLIB	0844
946	MSGTCR	07DE
796	MULTIO	069C
800	MULTI1	06A5
181	NCDAT1	0108
227	NCDAT2	0163
385	NEXT00	02B4
491	NEXT01	038D
152	NODAT0	00C8
507	NODAT1	03AE
1257	NODECR	0A75
728	NUMERO	061B
1142	NXTBI1	0989
1135	NXTBIT	0980
570	PR8279	0450
484	PREGUN	0380
163	PRIMER	00DE
1004	PROCES	0875
54	PROENF	1049
847	READ00	070C
879	READ11	0759
712	REGCAM	0602
197	REGDAT	0126
55	REGTSE	1160
67	RESET1	0000
717	SALID1	0608
718	SALID2	060A
716	SALID3	0606
918	SALID4	07A8
917	SALID5	07A6
916	SALID6	07A4
191	SEGUND	011C
56	SIGTES	1163
422	SIGUE1	02FE
499	SIGUE2	039F

Línea	Identificador	Valor
540	SIGUE3	03F6
562	SIGUE4	0426
633	SIGUE5	0529
803	SIGUE6	06AA
866	SIGUE7	073B
864	SIGUE8	0737
106	SINOTC	0065
929	SISOPE	07B7
57	STCPOI	1700
523	SUBE00	03D4
773	SUBE11	0672
1125	SUCONO	0972
621	TABLA1	0501
624	TABLA2	0511
58	TAENFR	1010
116	TCRITO	007C
59	TECDIS	3800
359	TECPUN	027A
168	TECSIG	00E6
60	TECSUB	1020
61	TECTIN	1070
987	TEMPER	0850
307	TENFRI	020F
243	TERCER	0183
1206	TERFIN	0A05
62	TFIENF	1550
714	TIEMPL	0604
63	TIERET	1199
451	TINIC1	033C
512	TMPINI	03B9
710	VALOR1	0600
64	VARSUB	1022
65	VARTEI	1046
186	VEDAT1	0113
231	VEDAT2	016B
279	VEDAT3	01D2
131	VERITC	009F
344	VERPUN	0258
154	VERSIG	00CB
478	VESTI1	0374
322	VETAEN	022D
458	VETINI	0349

No. de líneas : 1277

No. de errores: 0

APENDICE " B "

ADC1205



National
Semiconductor
Corporation

ADC1205/ADC1225 12-Bit Plus Sign μ P Compatible A/D Converters

General Description

The ADC1205 and ADC1225 are CMOS, 12-bit plus sign successive approximation A/D converters. The 24-pin ADC1205 outputs the 13-bit data result in two 8-bit bytes, formatted high-byte first with sign extended. The 28-pin ADC1225 outputs a 13-bit word in parallel for direct interface to a 16-bit data bus.

Negative numbers are represented in 2's complement data format. All digital signals are fully TTL and MOS compatible.

A unipolar input (0V to 5V) can be accommodated with a single 5V supply, while a bipolar input ($-5V$ to $+5V$) requires the addition of a 5V negative supply.

The ADC1205B and ADC1225B have a maximum non-linearity over temperature of 0.012% of Full Scale, and the ADC1205C and ADC1225C have a maximum non-linearity of 0.0224% of Full Scale.

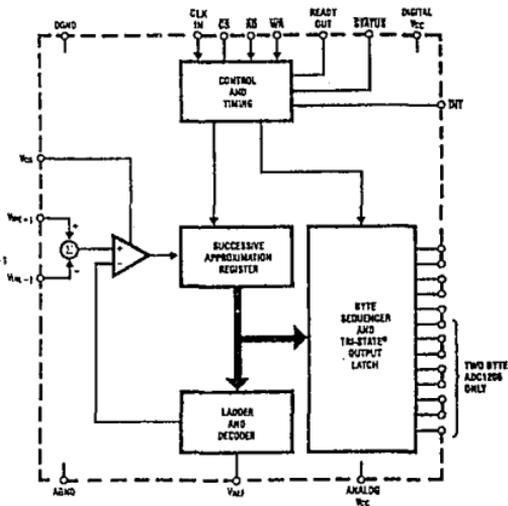
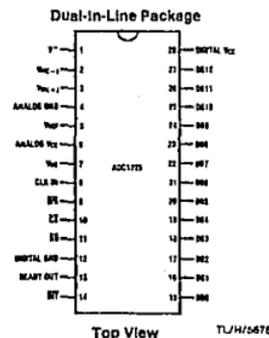
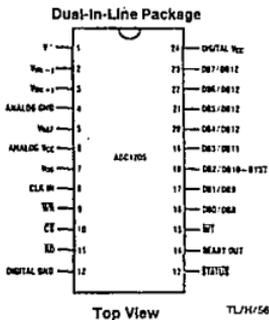
Key Specifications

- Resolution—12 bits plus sign
- Linearity Error— $\pm 1/2$ LSB and ± 1 LSB
- Conversion Time—100 μ s

Features

- Compatible with all μ Ps
- True differential analog voltage inputs
- 0V to 5V analog voltage range with single 5V supply
- TTL/MOS input/output compatible
- Low power—25 mW max
- Standard 24-pin or 28-pin DIP

Connection and Functional Diagrams



TL/H/5676-3

Absolute Maximum Ratings (Notes 1 & 2)

If Military/Aerospace specified devices are required, contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage (DV _{CC} and AV _{CC})	6.5V
Negative Supply Voltage (V ⁻)	-15V to GND
Logic Control Inputs	-0.3V to +15V
Voltage at Analog Inputs V _{IN(+)} - V _{IN(-)}	(V ⁻) - 0.3V to V _{CC} + 0.3V
Voltage at All Outputs, V _{REF} , V _{OS}	-0.3V to (V _{CC} + 0.3)V
Input Current per Pin	±5mA
Input Current per Package	±20mA
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Package Dissipation at T _A = 25°C	875 mW
Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)	300°C
ESD Susceptibility (Note 12)	800V

Operating Conditions (Notes 1 & 2)

Temperature Range	T _{MIN} ≤ T _A ≤ T _{MAX}
ADC1205BCJ, ADC1205CCJ	-40°C ≤ T _A ≤ +85°C
ADC1225BCJ, ADC1225CCJ	0°C ≤ T _A ≤ 70°C
ADC1205BCJ-1, ADC1205CCJ-1	
ADC1225BCJ-1, ADC1225CCJ-1	
Supply Voltage (DV _{CC} and AV _{CC})	4.5 V _{DC} to 6.0 V _{DC}
Negative Supply Voltage (V ⁻)	-15V to GND

Electrical Characteristics

The following specifications apply for V_{CC} = AV_{CC} = 5V, V_{REF} = 5V, f_{CLK} = 1.0 MHz, V⁻ = -5V for bipolar input range, or V⁻ = GND for unipolar input range unless otherwise specified. Bipolar input range is defined as -5.05V ≤ V_{IN(+)} ≤ 5.05V; -5.05V ≤ V_{IN(-)} ≤ 5.05V and |V_{IN(+)} - V_{IN(-)}| ≤ 5.05V. Unipolar input range is defined as -0.05V ≤ V_{IN(+)} ≤ 5.05V; -0.05V ≤ V_{IN(-)} ≤ 5.05V and |V_{IN(+)} - V_{IN(-)}| ≤ 5.05V. Boldface limits apply from T_{MIN} to T_{MAX}; all other limits T_A = T_J = 25°C (Notes 3, 4, 5, 6, 7).

Parameter	Conditions	ADC1205BCJ, ADC1205CCJ ADC1225BCJ, ADC1225CCJ			ADC1205BCJ-1, ADC1205CCJ-1 ADC1225BCJ-1, ADC1225CCJ-1			Limit Units	
		Typ (Note 8)	Tested Limit (Note 9)	Design Limit (Note 10)	Typ (Note 8)	Tested Limit (Note 9)	Design Limit (Note 10)		
CONVERTER CHARACTERISTICS									
Linearity Error ADC1205BCJ, ADC1225BCJ ADC1205BCJ-1, ADC1225BCJ-1 ADC1205CCJ, ADC1225CCJ ADC1205CCJ-1, ADC1225CCJ-1	Unipolar Input Range (Note 11)	±1/2				±1/2	±1/2	LSB	
		±1				±1	±1	LSB	
	Unadjusted Zero Error	Unipolar Input Range	±2				±2	±2	LSB
Unadjusted Positive and Negative Full-Scale Error	Unipolar Input Range	±30				±30	±30	LSB	
Negative Full-Scale Error	Unipolar Input Range, Full Scale Adj. to Zero			±1/2			±1/2	LSB	
Linearity Error ADC1205BCJ, ADC1225BCJ ADC1205BCJ-1, ADC1225BCJ-1 ADC1205CCJ, ADC1225CCJ ADC1205CCJ-1, ADC1225CCJ-1	Bipolar Input Range (Note 11)	±1.5				±1.5	±1.5	LSB	
		±2				±2	±2	LSB	
	Unadjusted Zero Error	Bipolar Input Range	±2				±2	±2	LSB
Unadjusted Positive and Negative Full-Scale Error	Bipolar Input Range	±30				±30	±30	LSB	
Negative Full-Scale Error	Bipolar Input Range, Full Scale Adj. to Zero	±2				±2	±2	LSB	
Maximum Gain Temperature Coefficient		6		15		6	15	ppm/°C	
Maximum Offset Temperature Coefficient		0.5		1.5		0.5	1.5	ppm/°C	
Minimum V _{REF} Input Resistance		4.0	2		4.0	2	2	kΩ	
Maximum V _{REF} Input Resistance		4.0	8		4.0	8	8	kΩ	

Electrical Characteristics (Continued)

The following specifications apply for $DV_{CC} = AV_{CC} = 5V$, $V_{REF} = 5V$, $f_{CLK} = 1.0$ MHz, $V^- = -5V$ for bipolar input range, or $V^- = GND$ for unipolar input range unless otherwise specified. Bipolar input range is defined as $-5.05V \leq V_{IN(+)} \leq 5.05V$, $-5.05V \leq V_{IN(-)} \leq 5.05V$ and $|V_{IN(+)} - V_{IN(-)}| \leq 5.05V$. Unipolar input range is defined as $-0.05V \leq V_{IN(+)} \leq 5.05V$, $-0.05V \leq V_{IN(-)} \leq 5.05V$ and $|V_{IN(+)} - V_{IN(-)}| \leq 5.05V$. Boldface limits apply from T_{MIN} to T_{MAX} ; all other limits $T_A = T_J = 25^\circ C$ (Notes 3, 4, 5, 6, 7).

Parameter	Conditions	ADC1205BCJ, ADC1205CCJ ADC1225BCJ, ADC1225CCJ			ADC1205BCJ-1, ADC1205CCJ-1 ADC1225BCJ-1, ADC1225CCJ-1			Limit Units
		Typ (Note 8)	Tested Limit (Note 9)	Design Limit (Note 10)	Typ (Note 8)	Tested Limit (Note 9)	Design Limit (Note 10)	
CONVERTER CHARACTERISTICS (Continued)								
Minimum Analog Input Voltage	Unipolar Input Range		GND-0.05			GND-0.05	GND-0.05	V
	Bipolar Input Range		-V_{CC}-0.05			-V_C-0.05	-V_{CC}-0.05	V
Maximum Analog Input Voltage	Unipolar Input Range		V_{CC}+0.05			V_{CC}+0.05	V_{CC}+0.05	V
	Bipolar Input Range	V_{CC}+0.05				V_{CC}+0.05	V_{CC}+0.05	V
DC Common-Mode Error		$\pm\frac{1}{2}\%$	$\pm\frac{1}{2}\%$		$\pm\frac{1}{2}\%$	$\pm\frac{1}{2}\%$	$\pm\frac{1}{2}\%$	LSB
Power Supply Sensitivity	$AV_{CC} = DV_{CC} = 5V \pm 5\%$, $V^- = -5V \pm 5\%$							
Zero Error			$\pm\frac{1}{2}\%$			$\pm\frac{1}{2}\%$	$\pm\frac{1}{2}\%$	LSB
Positive and Negative Full-Scale Error			$\pm\frac{1}{2}\%$			$\pm\frac{1}{2}\%$	$\pm\frac{1}{2}\%$	LSB
Linearity Error			$\pm\frac{1}{2}\%$			$\pm\frac{1}{2}\%$	$\pm\frac{1}{2}\%$	LSB
DIGITAL AND DC CHARACTERISTICS								
$V_{IN(1)}$, Logical "1" Input Voltage (Min)	$V_{CC} = 5.25V$, All Inputs except CLK IN		2.0			2.0	2.0	V
$V_{IN(0)}$, Logical "0" Input Voltage (Max)	$V_{CC} = 4.75V$, All Inputs except CLK IN		0.8			0.8	0.8	V
$I_{IN(1)}$, Logical "1" Input Current (Max)	$V_{IN} = 5V$	0.005	1		0.005	1	1	μA
$I_{IN(0)}$, Logical "0" Input Current (Max)	$V_{IN} = 0V$	-0.005	-1		-0.005	-1	-1	μA
V_T^+ (Min), Minimum Positive-Going Threshold Voltage	CLK IN	3.1	2.7		3.1	2.7	2.7	V
V_T^+ (Max), Maximum Positive-Going Threshold Voltage	CLK IN	3.1	3.5		3.1	3.5	3.5	V
V_T^- (Min), Minimum Negative-Going Threshold Voltage	CLK IN	1.8	1.4		1.8	1.4	1.4	V
V_T^- (Max), Maximum Negative-Going Threshold Voltage	CLK IN	1.8	2.1		1.8	2.1	2.1	V
V_H (Min), Minimum Hysteresis [V_T^+ (Min) - V_T^- (Max)]	CLK IN	1.3	0.6		1.3	0.6	0.6	V
V_H (Max), Maximum Hysteresis [V_T^+ (Max) - V_T^- (Min)]	CLK IN	1.3	2.1		1.3	2.1	2.1	V

Electrical Characteristics (Continued)

The following specifications apply for $DV_{CC} = AV_{CC} = 5V$, $V_{REF} = 5V$, $f_{CLK} = 1.0$ MHz, $V^- = -5V$ for bipolar input range, or $V^- = GND$ for unipolar input range unless otherwise specified. Bipolar input range is defined as $-5.05V \leq V_{IN(+)} \leq 5.05V$; $-5.05V \leq V_{IN(-)} \leq 5.05V$ and $|V_{IN(+)} - V_{IN(-)}| \leq 5.05V$. Unipolar input range is defined as $-0.05V \leq V_{IN(+)} \leq 5.05V$; $-0.05V \leq V_{IN(-)} \leq 5.05V$ and $|V_{IN(+)} - V_{IN(-)}| \leq 5.05V$. Boldface limits apply from T_{MIN} to T_{MAX} ; all other limits $T_A = T_J = 25^\circ C$ (Notes 3, 4, 5, 6, 7).

Parameter	Conditions	ADC1205BCJ, ADC1205CCJ ADC1225BCJ, ADC1225CCJ		ADC1205BCJ-1, ADC1205CCJ-1 ADC1225BCJ-1, ADC1225CCJ-1			Limit Units
		Typ (Note 8)	Tested Limit (Note 9)	Design Limit (Note 10)	Typ (Note 8)	Tested Limit (Note 9)	
DIGITAL AND DC CHARACTERISTICS (Continued)							
$V_{OUT(1)}$, Logical "1" Output Voltage (Min)	$V_{CC} = 4.75V$ $I_{OUT} = -380 \mu A$ $I_{OUT} = -10 \mu A$		2.4 4.5		2.4 4.5	2.4 4.5	V V
$V_{OUT(0)}$, Logical "0" Output Voltage (Max)	$V_{CC} = 4.75V$ $I_{OUT} = 1.6 mA$		0.4		0.4	0.4	V
I_{OUT} , TRI-STATE Output Leakage Current (Max)	$V_{OUT} = 0V$ $V_{OUT} = 5V$	-0.01 0.01	-3 3	-0.01 0.01	-0.3 0.3	-3 3	μA μA
I_{SOURCE} , Output Source Current (Min)	$V_{OUT} = 0V$	-12	-6.0	-12	-7.0	-6.0	mA
I_{SINK} , Output Sink Current (Min)	$V_{OUT} = 5V$	16	8.0	16	9.0	8.0	mA
D_{CC} , DV_{CC} Supply Current (Max)	$f_{CLK} = 1$ MHz, $\overline{CS} = 1$	1	3	1	2.5	3	mA
I_{CC} , AV_{CC} Supply Current (Max)	$f_{CLK} = 1$ MHz, $\overline{CS} = 1$	1	3	1	2.5	3	mA
I^- , V^- Supply Current (Max)	$f_{CLK} = 1$ MHz, $\overline{CS} = 1$	10	100	10	100	100	μA

AC Electrical Characteristics

The following specifications apply for $DV_{CC} = AV_{CC} = 5.0V$, $t_r = t_f = 20$ ns and $T_A = 25^\circ C$ unless otherwise specified.

Parameter	Conditions	Typ (Note 8)	Tested Limit (Note 9)	Design Limit (Note 10)	Limit Units
f_{CLK} , Clock Frequency	MIN MAX	1.0 1.0	0.3 1.5		MHz MHz
Clock Duty Cycle	MIN MAX			40 60	% %
T_C , Conversion Time	MIN MAX MIN MAX			108 109 108 109	1/ f_{CLK} 1/ f_{CLK} μs μs
$t_{W(WR)}$, \overline{WR} Pulse Width	MAX	220		350	ns
t_{ACC} , Access Time (Delay from Falling Edge of \overline{RD} to Output Data Valid) (Max)	$C_L = 100$ pF	210		340	ns
t_{1H} , t_{0H} , TRI-STATE Control (Delay from Rising Edge of \overline{RD} to Hi-Z State) (Max)	$R_L = 2k$, $C_L = 100$ pF	170		290	ns
$t_{PD(READYOUT)}$, \overline{RD} or \overline{WR} to READYOUT Delay (Max)		250		400	ns
$t_{PD(NT)}$, \overline{RD} or \overline{WR} to Reset of \overline{INT} (Max)		250		400	ns

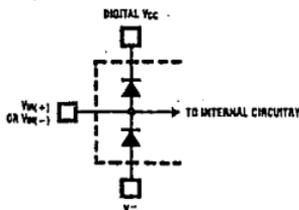
Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its specified operating ratings.

Note 2: All voltages are measured with respect to ground, unless otherwise specified.

Note 3: A parasitic zener diode exists internally from AV_{CC} and DV_{CC} to ground. This parasitic zener has a typical breakdown voltage of 7 V_{DC}.

AC Electrical Characteristics (Continued)

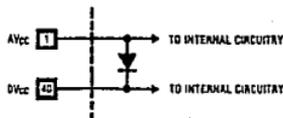
Note 4: Two on-chip diodes are tied to each analog input as shown below.



TL/H/5678-4

Errors in the A/D conversion can occur if these diodes are forward biased more than 50 mV. This means that if AV_{CC} and DV_{CC} are minimum ($4.75V_{CC}$) and V_{-} is minimum ($-4.75V_{CC}$), full-scale must be $\leq 4.8V_{CC}$.

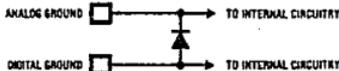
Note 5: A diode exists between analog V_{CC} and digital V_{CC} .



TL/H/5678-20

To guarantee accuracy, it is required that the AV_{CC} and DV_{CC} be connected together to a power supply with separate bypass filters at each V_{CC} pin.

Note 6: A diode exists between analog ground and digital ground.



TL/H/5678-21

To guarantee accuracy, it is required that the analog ground and digital ground be connected together externally.

Note 7: Accuracy is guaranteed at $f_{CLK} = 1.0$ MHz. At higher clock frequencies accuracy may degrade.

Note 8: Typical values are at 25°C and represent most likely parametric norm.

Note 9: Tested and guaranteed to National's A/OOL (Average Outgoing Quality Level).

Note 10: Guaranteed, but not 100% production tested. These limits are not used to calculate outgoing quality levels.

Note 11: Linearity error is defined as the deviation of the analog value, expressed in LSBs, from the straight line which passes through positive full scale and zero, after adjusting zero error. (See Figures 1b and 1c).

Note 12: Human body model; 100 pF discharged through a 1.5 kΩ resistor.

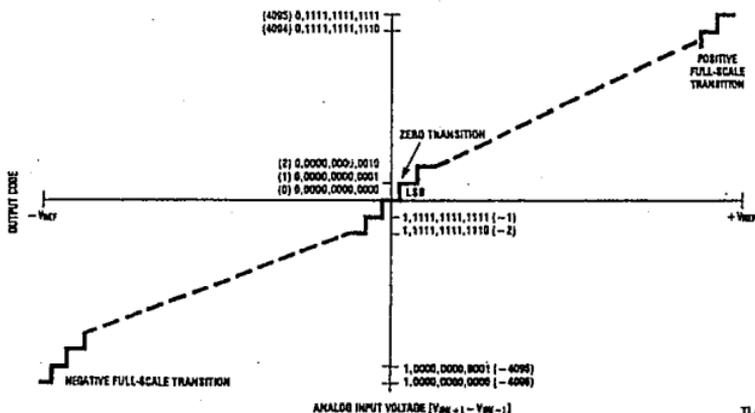


FIGURE 1a. Transfer Characteristic

TL/H/5678-5

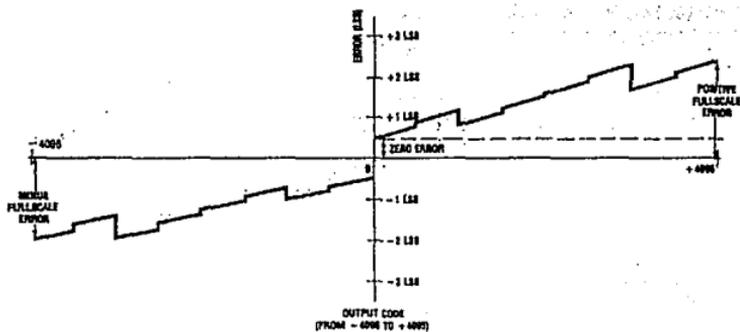


FIGURE 1b. Simplified Error Curve vs. Output Code Without Zero and Fullscale Adjustment

TL/H/5676-22

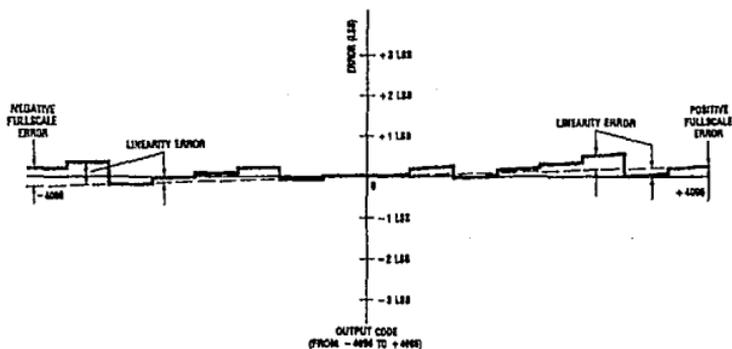


FIGURE 1c. Simplified Error Curve vs. Output Code after Zero/Fullscale Adjustment

TL/H/5676-23

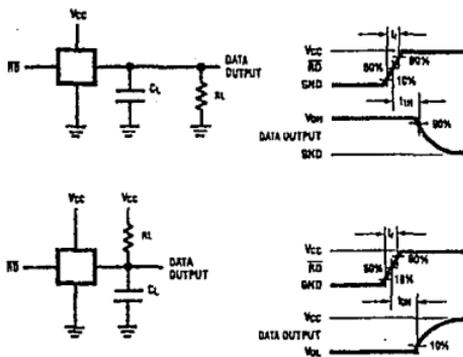
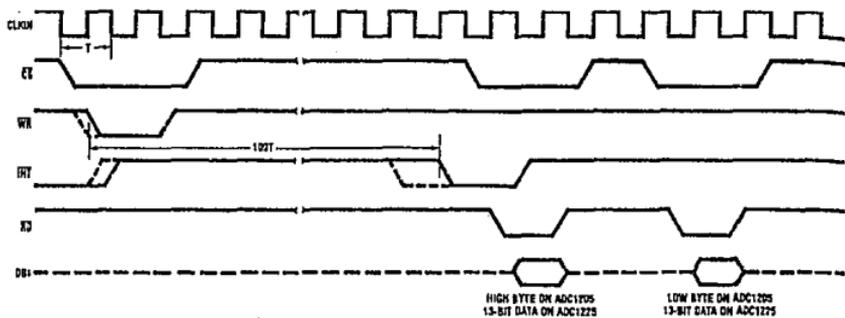


FIGURE 2. TRI-STATE Test Circuits and Waveforms

TL/H/5676-7

Timing Diagrams

Transfer Characteristic for ADC1205 and ADC1225 Unipolar Input Range and Bipolar Input Range (digital output codes vs the difference of the analog inputs $\{V_{IN(+)} - V_{IN(-)}\}$)



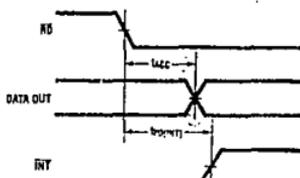
TL/H/5678-15

FIGURE 3. Timing Diagram



TL/H/5678-13

FIGURE 4. Ready Out



TL/H/5678-14

FIGURE 5. Data Out

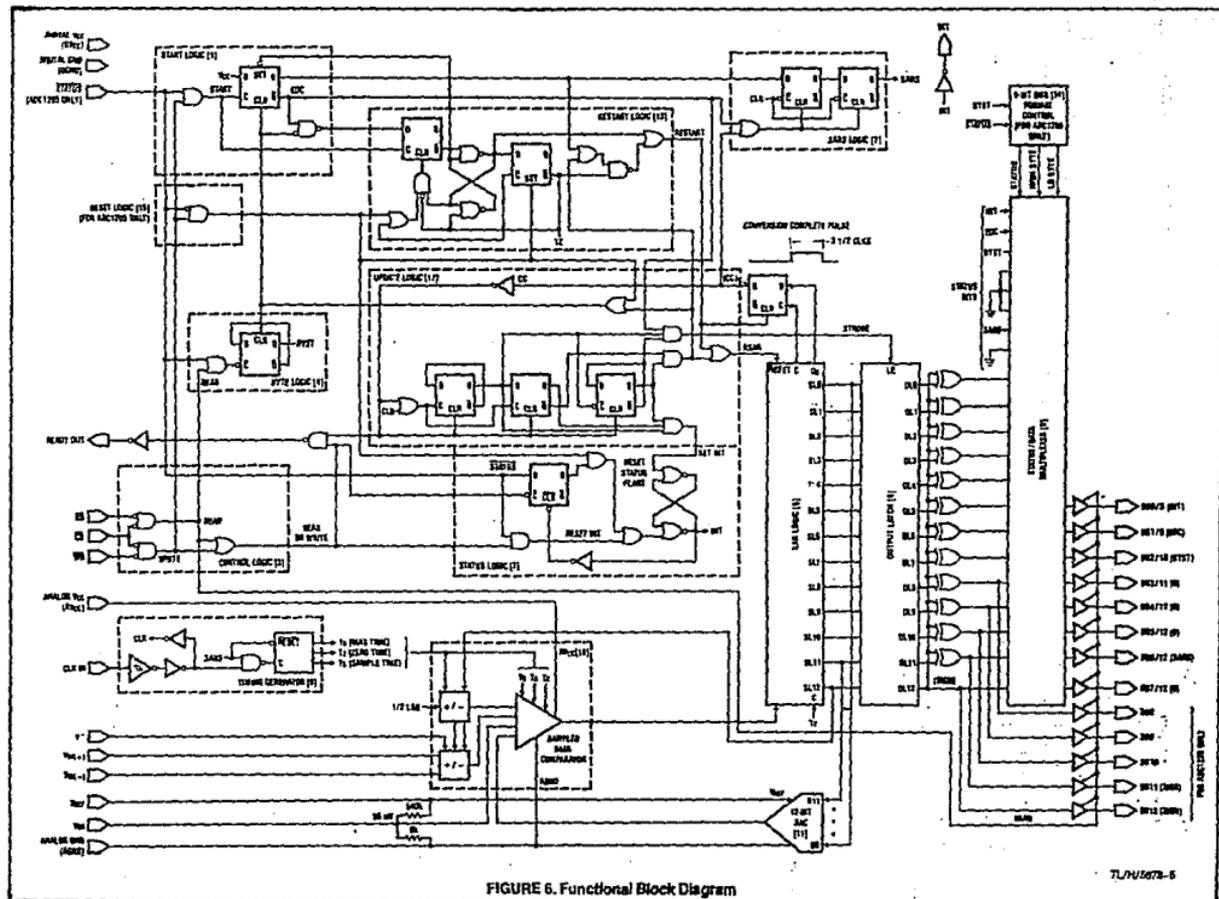


FIGURE 6. Functional Block Diagram

Functional Description

1.0 THE A/D CONVERSION

1.1 STARTING A CONVERSION

When using the ADC1225 or ADC1205 with a microprocessor, starting an A-to-D conversion is like writing to an external memory location. The \overline{WR} and \overline{CS} lines are used to start the conversion. The simplified logic (Figure 6) shows that the falling edge of \overline{WR} with \overline{CS} low clocks the D-type flip-flop and initiates the conversion sequence. A new conversion can therefore be restarted before the end of the previous sequence. \overline{INT} going low indicates the conversion's end.

1.2 THE CONVERSION PROCESS (Numbers designated by [] refer to portions of Figure 6.)

The SARR LOGIC [2] controls the A-to-D conversion process. When 'sars' goes high the clock (clk) is gated to the TIMING GENERATOR [9]. One of the outputs of the TIMING GENERATOR, T_2 , provides the clock for the Successive Approximation Register, SARR LOGIC [5]. The T_2 clock rate is $1/4$ of the CLK IN frequency.

Inputs to the 12-BIT DAC [11] and control of the SAMPLED DATA COMPARATOR [10] sign logic are provided by the SAR LOGIC. The first step in the conversion process is to set the sign to positive (logic '0') and the input of the DAC to 000 (HEX notation). If the differential input, $V_{IN(+)} - V_{IN(-)}$, is positive the sign bit will remain low. If it is negative the sign bit will be set high. Differential inputs of only a few hundred microvolts are enough to provide full logic swings at the output of the SAMPLED DATA COMPARATOR.

The sign bit indicates the polarity of the differential input. If it is set high, the negative input must have been greater than the positive input. By reversing the polarity of the differential input, $V_{IN(+)}$ and $V_{IN(-)}$ are interchanged and the DAC sees the negative input as positive. The input polarity reversal is done digitally by changing the timing on the input sampling switches of the SAMPLED DATA COMPARATOR. Thus, with almost no additional circuitry, the A/D is extended from a unipolar 12-bit to a bipolar 12-bit (12-bit plus sign) device.

After determining the input polarity, the conversion proceeds with the successive approximation process. The SAR LOGIC successively tries each bit of the 12-BIT DAC. The most significant bit (MSB), B11, has a weight of $1/2$ of V_{REF} . The next bit, B10, has a weight of $1/4$ V_{REF} . Each successive bit is reduced in weight by a factor of 2 which gives the least significant bit (LSB) a weight of $1/4096$ V_{REF} .

When the MSB is tried, the comparator compares the DAC output, $V_{REF}/2$, to the analog input. If the analog input is greater than $V_{REF}/2$ the comparator tells the SAR LOGIC to set the MSB. If the analog input is less than $V_{REF}/2$ the comparator tells the SAR LOGIC to reset the MSB. On the next bit-test the DAC output will either be $1/4$ V_{REF} or $3/4$ V_{REF} depending on whether the MSB was set or not. Following this sequence through for each successive bit will approximate the analog input to within 1-bit (one part in 4096).

On completion of the LSB bit-test the conversion-complete flip-flop (CC) is set, signifying that the conversion is finished. The end-of-conversion (EOC) and interrupt (\overline{INT}) lines are not changed at this time. Some internal housekeeping tasks must be completed before the outside world is notified that the conversion is finished.

Setting CC enables the UPDATE LOGIC [12]. This logic controls the transfer of data from the SAR LOGIC to the OUTPUT LATCH [6] and resets the internal logic in preparation for a new conversion. This means that when EOC goes high, a new conversion can be immediately started since the internal logic has already been reset. In the same way, data is transferred to the OUTPUT LATCH prior to issuing an interrupt. This assures that data can be read immediately after \overline{INT} goes low.

2.0 READING THE A/D

The ADC 1225 makes all thirteen bits of the conversion result available in parallel. Taking \overline{CS} and \overline{RD} low enables the TRI-STATE* output buffers. The conversion result is represented in 2's complement format.

The ADC1205 makes the conversion result available in two eight-bit bytes. The output format is 2's complement with extended sign. Data is right justified and presented high byte first. With \overline{CS} low and STATUS high, the high byte (DB12-DB8) will be enabled on the output buffers the first time \overline{RD} goes low. When \overline{RD} goes low a second time, the low byte (DB7-DB0) will be enabled. On each read operation, the 'byst' flip-flop is toggled so that on successive reads alternate bytes will be available on the outputs. The 'byst' flip-flop is always reset to the high byte at the end of a conversion. Table 1 below shows the data bit locations on the ADC1205.

The ADC1205's STATUS pin makes it possible to read the conversion status and the state of the 'byst' flip-flop. With \overline{RD} , STATUS and \overline{CS} low, this information appears on the data bus. The 'byst' status appears on pin 18 (DB2/DB10). A low output on pin 18 indicates that the next data read will be the high byte. A high output indicates that the next data read will be the low byte. A high status bit on pin 22 (DB6/DB12) indicates that the conversion is in progress. A high output appears on pin 17 (DB1/DB9) when the conversion is completed and the data has been transferred to the output latch. A high output on pin 16 (DB0/DB8) indicates that the conversion has been completed and the data is ready to read. This status bit is reset when a new conversion is initiated, data is read, or status is read. When reading a conversion result, STATUS should always be brought high at least 600 ns before \overline{RD} goes low. If the conversion status information is not needed, the STATUS pin should be hardwired to V^+ . Table 2 summarizes the meanings of the four status bits.

TABLE I. Data Bit Locations, ADC1205

HIGH BYTE	DB12	DB12	DB12	DB12	DB11	DB10	DB9	DB8
LOW BYTE	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0

TABLE II. Status Bit Locations and Meanings

Status Bit Location	Status Bit	Meaning	Condition to Clear Status Bit
DB8	SARS	"High" indicates that the conversion is in progress	
DB2	BYST	"Low" indicates that the next data read is the high byte. "High" indicates that the next data read is the low byte	Status write or toggle with data read

Functional Description (Continued)

TABLE II. Status Bit Locations and Meanings
(Continued)

Status Bit Location	Status Bit	Meaning	Condition to Clear Status Bit
DB1	EOC	"High" indicates that the conversion is completed and data is transferred to the output latch.	
DB0	INT	"High" indicates that it is the end of the conversion and the data is ready to read	Data read or status read or status write

3.0 INTERFACE

3.1 RESET OF INTERRUPT

INT goes low at the end of the conversion and indicates that data is transferred to the output latch. By reading data, INT will be reset to high on the leading edge of the first read (RD going low). INT is also reset on the leading (falling) edge of WR when starting a conversion.

3.2 READY OUT

To simplify the hardware connection to high speed microprocessors, a READY OUT line is provided. This allows the A-to-D to insert a wait state in the μ P's read cycle. The equivalent circuit and the timing diagram for READY OUT is shown in Figures 7 and 8.

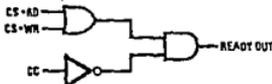
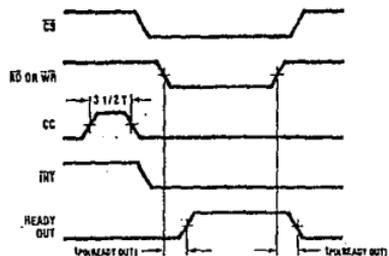


FIGURE 7. READY OUT Equivalent Circuit

TL/H/5676-9



TL/H/5676-10

FIGURE 8. READY OUT Timing Diagram

3.3 RESETTING THE A/D

All the internal logic can be reset, which will abort any conversion in process and reset the status bits. The reset function is achieved by performing a status write (CS, WR and STATUS are low).

3.4 ADDITIONAL TIMING AND INTERFACE OPTIONS

ADC1225

1. WR and RD can be tied together with CS low continuously or strobed. The previous conversion's data will be available when the WR and RD are low as shown below.

One drawback is that, since the conversion is started on the falling edge and the data read on the rising edge of WR/RD, the first data access will have erroneous information depending on the power-up state of the internal output latches.

If the WR/RD strobe is longer than the conversion time, INTN will never go low to signal the end of a conversion. The conversion will be completed and the output latches will be updated. In this case the READY OUT signal can be used to sense the end of the conversion since it will go low when the output latches are being updated.

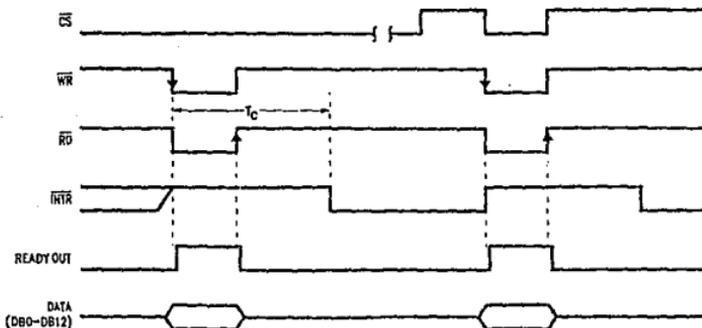


FIGURE 9

TL/H/5676-24

Functional Description (Continued)

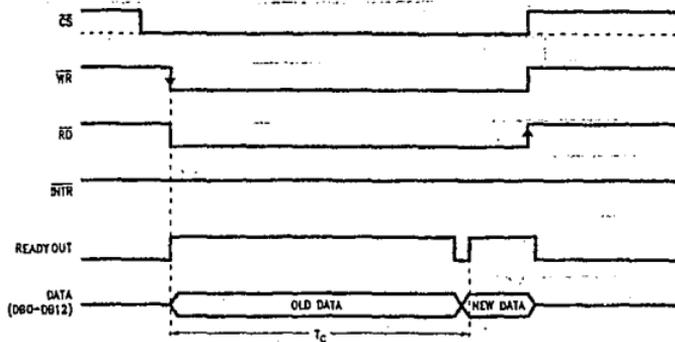


FIGURE 10

TL/H/6678-25

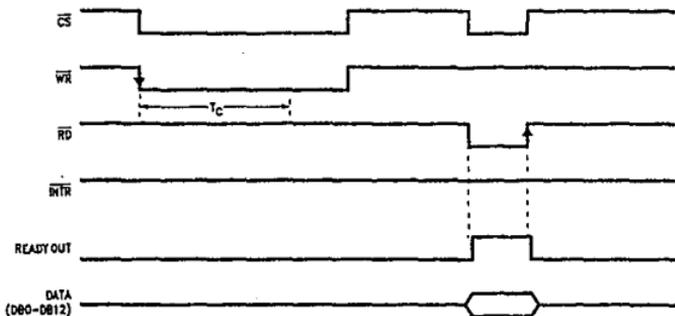


FIGURE 11

TL/H/5678-26

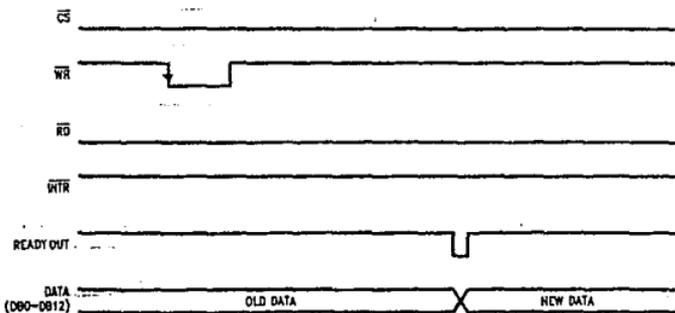
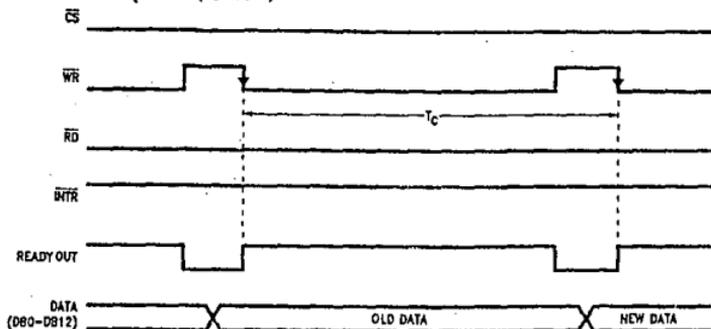


FIGURE 12

TL/H/6678-27

Functional Description (Continued)



TL/H/5678-28

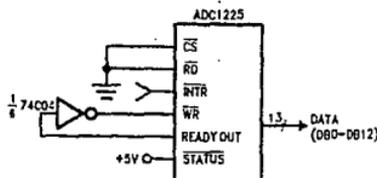


FIGURE 13

TL/H/5678-29

When using this method of conversion only one strobe is necessary and the rising edge of WR/RD can be used to read the current conversion results. These methods reduce the throughput time of the conversion since the RD and WR cycles are combined.

2. With the standard timing WR pulse width longer than the conversion time a conversion is completed but the INTR will never go low to signal the end of a conversion. The output latches will be updated and valid information will be available when the RD cycle is accomplished.

3. Tying CS and RD low continuously and strobing WR to initiate a conversion will also yield valid data. The INTR will never go low to signal the end of a conversion and the digital outputs will always be enabled, so using INTR to strobe the WR line for a continuous conversion cannot be done with this part.

A simple stand-alone circuit can be accomplished by driving WR with the inverse of the READY OUT signal using a simple inverter as shown below.

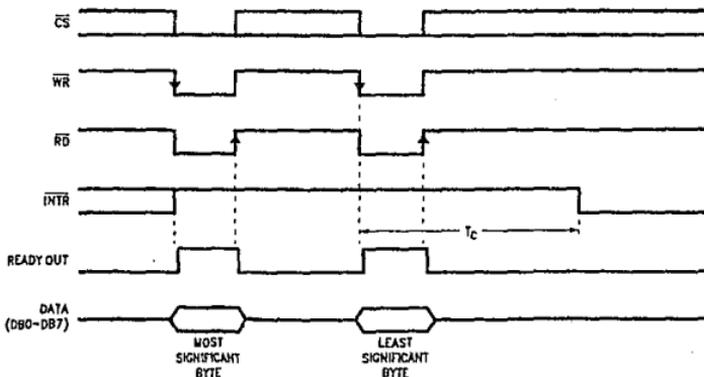


FIGURE 14

TL/H/5678-30

Functional Description (Continued)

ADC1205

Case 1 would be the only one that would apply to the ADC1205 since two RD strobes are necessary to retrieve the 13 bits of information on the 8 bit data bus. Simultaneously strobing WR and RD low will enable the most significant byte on DB0-DB7 and start a conversion. Pulsing WR/RD low before the end of this conversion will enable the least significant byte of data on the outputs and restart a conversion.

4.0 REFERENCE VOLTAGE

The voltage applied to the reference input of the converter defines the voltage span of the analog inputs (the difference between $V_{IN(+)}$ and $V_{IN(-)}$), over which 4096 positive output codes and 4096 negative output codes exist. The A-to-D can be used in either ratiometric or absolute reference applications. V_{REF} must be connected to a voltage source capable of driving the reference input resistance (typically 4 k Ω).

In a ratiometric system, the analog input voltage is proportional to the voltage used for the A/D reference. When this voltage is the system power supply, the V_{REF} pin can be tied to V_{CC} . This technique relaxes the stability requirement of the system reference as the analog input and A/D reference move together maintaining the same output code for a given input condition.

For absolute accuracy, where the analog input varies between very specific voltage limits, the reference pin can be biased with a time and temperature stable voltage source. In general, the magnitude of the reference voltage will require an initial adjustment to null out full-scale errors.

5.0 THE ANALOG INPUTS

5.1 DIFFERENTIAL VOLTAGE INPUTS AND COMMON MODE REJECTION

The differential inputs of the ADC1225 and ADC1205 actually reduce the effects of common-mode input noise, i.e., signals common to both $V_{IN(+)}$ and $V_{IN(-)}$ inputs (60 Hz is most typical). The time interval between sampling the "+" and "-" input is 4 clock periods. Therefore, a change in the common-mode voltage during this short time interval may cause conversion errors. For a sinusoidal common-mode signal the error would be:

$$V_{ERROR(MAX)} = V_{PEAK} (2\pi f_{CM} \frac{4}{f_{CLK}})$$

where f_{CM} is the frequency of the common-mode signal, V_{PEAK} is its peak voltage value and f_{CLK} is the converter's clock frequency. In most cases V_{ERROR} will not be significant. For a 60 Hz common-mode signal to generate a 1/2 LSB error (300 μ V) with the converter running at 1 MHz its peak value would have to be 200mV.

5.2 INPUT CURRENT

Due to the sampling nature of the analog inputs, short duration spikes of current enter the "+" input and exit the "-" input at the leading clock edges during the actual conversion. These currents decay rapidly and do not cause errors as the internal comparator is strobed at the end of a clock period.

5.3 INPUT BYPASS CAPACITORS

Bypass capacitors at the inputs will average the current spikes mentioned in 5.2 and cause a DC current to flow

through the output resistance of the analog signal source. This charge pumping action is worse for continuous conversions with the $V_{IN(+)}$ input voltage at full-scale. For continuous conversions with a 1 MHz clock frequency and the $V_{IN(+)}$ input at 5V, the average input current is approximately 5 μ A. For this reason bypass capacitors should not be used at the analog inputs for high resistance sources ($R_{SOURCE} > 100 \Omega$).

If input bypass capacitors are necessary for noise filtering and high source resistance is desirable to minimize capacitor size, the detrimental effects of the voltage drop across this input resistance, due to the average value of the input current, can be minimized with a full-scale adjustment while the given source resistance and input bypass capacitor are both in place. This is effective because the average value of the input current is a linear function of the differential input voltage.

5.4 INPUT SOURCE RESISTANCE

Large values of source resistance where an input bypass capacitor is not used, will not cause errors as the input currents settle out prior to the comparison time. If a low pass filter is required in the system, use a low valued series resistor ($R \leq 100 \Omega$) for a passive RC section or add an op amp RC active low pass filter. For low source resistance applications, ($R_{SOURCE} \leq 100 \Omega$) a 0.001 μ F bypass capacitor at the inputs will prevent pickup due to series lead inductance of a long wire. A 100 Ω series resistor can be used to isolate this capacitor - both the R and C are placed outside the feedback loop - from the output of an op amp, if used.

5.5 NOISE

The leads to the analog inputs should be kept as short as possible to minimize input noise coupling. Both noise and undesired digital clock coupling to these inputs can cause errors. Input filtering can be used to reduce the effects of these sources, but careful note should be taken of sections 5.3 and 5.4 if this route is taken.

6.0 POWER SUPPLIES

Noise spikes on the V_{CC} supply line can cause conversion errors as the comparator will respond to this noise. Low inductance tantalum capacitors of 1 μ F or greater are recommended for supply bypassing. Separate bypass caps should be placed close to the DV_{CC} and AV_{CC} pins. If an unregulated voltage source is available in the system, a separate LM340LAZ-5.0 voltage regulator for the A-to-D's V_{CC} (and other analog circuitry) will greatly reduce digital noise on the supply line.

7.0 ERRORS AND REFERENCE VOLTAGE ADJUSTMENTS

7.1 ZERO ADJUST

The zero error of the A/D converter relates to the location of the first riser of the transfer function and can be measured by grounding the $V_{IN(-)}$ input and applying a small magnitude positive voltage to the $V_{IN(+)}$ input. Zero error is the difference between the actual DC input voltage necessary to just cause an output digital code transition from all zeroes to 0,000,000,000,001 and the ideal 1/2 LSB value (1/2 LSB = 0.61 mV for $V_{REF} = 5 V_{DC}$). Zero error can be adjusted as shown in Figure 15. $V_{IN(+)}$ is forced to 0.61 mV, and $V_{IN(-)}$ is forced to 0V. The potentiometer is adjusted until the digital output code changes from all zeroes to 0,000,000,000,001.

Functional Description (Continued)

A simpler, although slightly less accurate, approach is to ground $V_{IN(+)}$ and $V_{IN(-)}$, and adjust for all zero at the output. Error will be well under $\frac{1}{2}$ LSB if the adjustment is done so that the potentiometer is "centered" within the 0,000,000 range. A positive voltage at the V_{OS} input will reduce the output code. The adjustment range is +4 to -30 LSB.

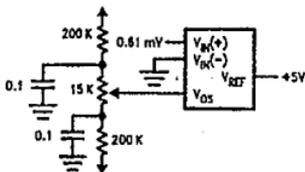


FIGURE 15. Zero Adjust Circuit

TL/H/5876-11

7.2 POSITIVE AND NEGATIVE FULL-SCALE ADJUSTMENT

Unipolar Inputs

Apply a differential input voltage which is 1.5 LSB below the desired analog full-scale voltage (V_F) and adjust the magni-

tude of the V_{REF} input so that the output code is just changing from 0,1111,1111,1110 to 0,1111,1111,1111.

Bipolar Inputs

Do the same procedure outlined above for the unipolar case and then change the differential input voltage so that the digital output code is just changing from 1,0000,0000,0001 to 1,0000,0000,0000. Record the differential input voltage, V_X , the ideal differential input voltage for that transition should be;

$$\left(-V_F + \frac{V_F}{8192}\right)$$

Calculate the difference between V_X and the ideal voltage;

$$\Delta = V_X - \left(-V_F + \frac{V_F}{8192}\right)$$

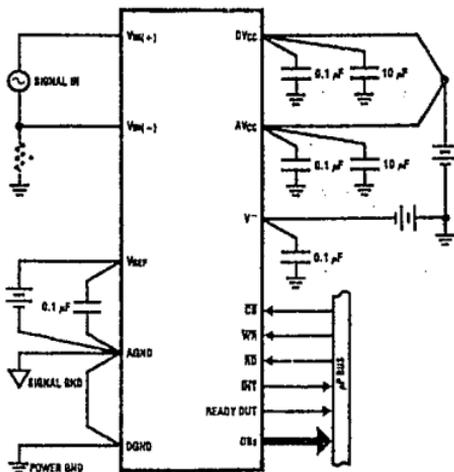
Then apply a differential input voltage of;

$$\left(V_X - \frac{\Delta}{2}\right)$$

and adjust the magnitude of V_{REF} so the digital output code is just changing from 1,0000,0000,0001 to 1,0000,0000,0000. That will obtain the positive and negative full-scale transition with symmetrical minimum error.

Typical Applications

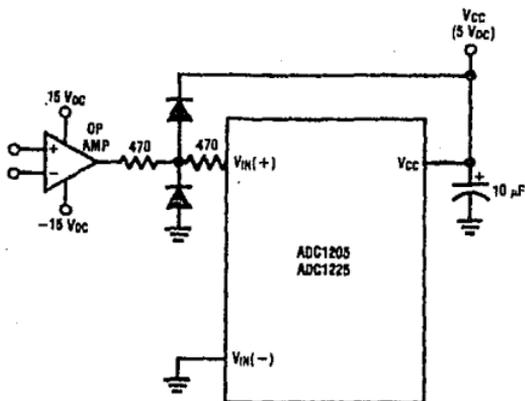
*Input must have some current return path to signal ground



TL/H/5876-12

Typical Applications (Continued)

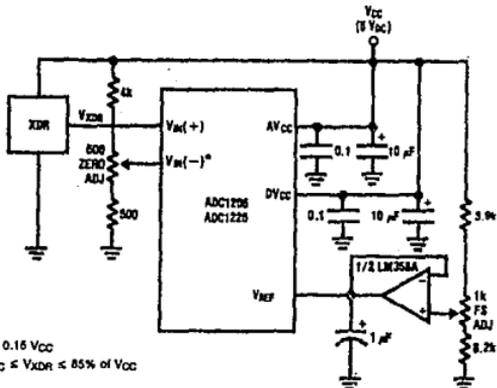
Protecting the Input



Diodes are 1N914

TLH/5676-16

Operating with Ratioetric Transducers

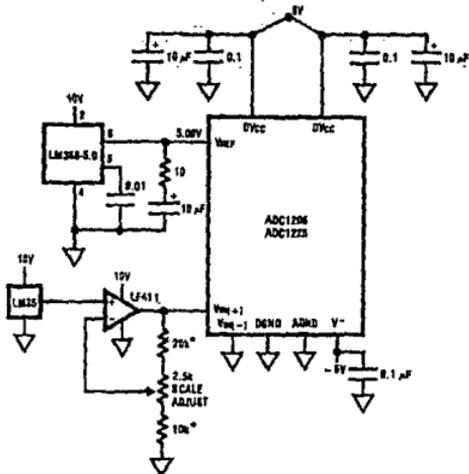


$V_{IN(-)} = 0.15 V_{CC}$
 $15\% \text{ of } V_{CC} \leq V_{XDR} \leq 85\% \text{ of } V_{CC}$

TLH/5676-17

Typical Applications (Continued)

Bipolar Input Temperature Converter

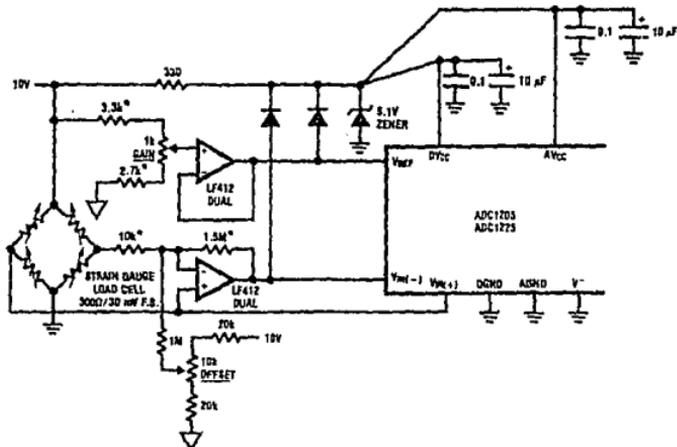


TL/H/5078-10

+150 to -60°C with 0.04°C resolution

Note: * resistors are 1% metal film types

Strain Gauge Converter with .025% Resolution and Single Power Supply



TL/H/5078-10

Note: 1)* resistors are 1% metal film types

2) LF412 power +10V and ground

Ordering Information

Temperature Range		0°C to 70°C		-40°C to +85°C	
Non-Linearity	0.012%	ADC1205BCJ-1	ADC1225BCJ-1	ADC1205BCJ	ADC1225BCJ
	0.024%	ADC1205CCJ-1	ADC1225CCJ-1	ADC1205CCJ	ADC1225CCJ
Package Outline		J24A	J28A	J24A	J28A

PROGRAMMABLE KEYBOARD / DISPLAY

INTERFACE 8279.



8279/8279-5 PROGRAMMABLE KEYBOARD/DISPLAY INTERFACE

- Simultaneous Keyboard Display Operations
- Scanned Keyboard Mode
- Scanned Sensor Mode
- Strobed Input Entry Mode
- 8-Character Keyboard FIFO
- 2-Key Lockout or N-Key Rollover with Contact Debounce
- Dual 8- or 16-Numerical Display
- Single 16-Character Display
- Right or Left Entry 16-Byte Display RAM
- Mode Programmable from CPU
- Programmable Scan Timing
- Interrupt Output on Key Entry
- Available in EXPRESS
 - Standard Temperature Range
 - Extended Temperature Range

The Intel® 8279 is a general purpose programmable keyboard and display I/O interface device designed for use with Intel® microprocessors. The keyboard portion can provide a scanned interface to a 64-contact key matrix. The keyboard portion will also interface to an array of sensors or a strobed interface keyboard, such as the hall effect and ferrite variety. Key depressions can be 2-key lockout or N-key rollover. Keyboard entries are debounced and strobed in an 8-character FIFO. If more than 8 characters are entered, overrun status is set. Key entries set the interrupt output line to the CPU.

The display portion provides a scanned display interface for LED, incandescent, and other popular display technologies. Both numeric and alphanumeric segment displays may be used as well as simple indicators. The 8279 has 16x8 display RAM which can be organized into dual 16x4. The RAM can be loaded or interrogated by the CPU. Both right entry, calculator and left entry typewriter display formats are possible. Both read and write of the display RAM can be done with auto-increment of the display RAM address.

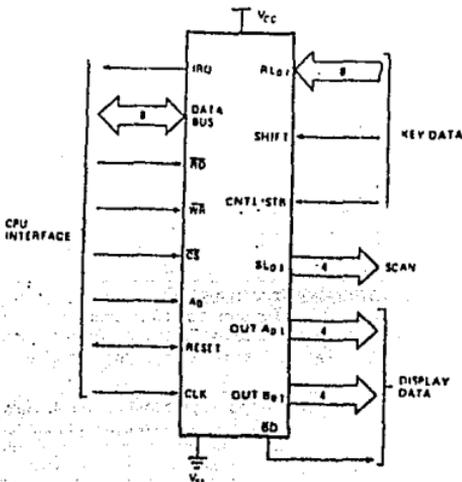


Figure 1. Logic Symbol

290123-1

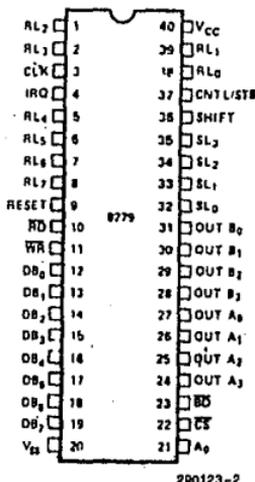


Figure 2. Pin Configuration

290123-2

HARDWARE DESCRIPTION

The 8279 is packaged in a 40 pin DIP. The following is a functional description of each pin.

Table 1. Pin Description

Symbol	Pin No.	Name and Function
DB ₀ -DB ₇	19-12	BI-DIRECTIONAL DATA BUS: All data and commands between the CPU and the 8279 are transmitted on these lines.
CLK	3	CLOCK: Clock from system used to generate internal timing.
RESET	9	RESET: A high signal on this pin resets the 8279. After being reset the 8279 is placed in the following mode: 1) 16 8-bit character display—left entry. 2) Encoded scan keyboard—2 key lockout. Along with this the program clock prescaler is set to 31.
CS	22	CHIP SELECT: A low on this pin enables the interface functions to receive or transmit.
A ₀	21	BUFFER ADDRESS: A high on this line indicates the signals in or out are interpreted as a command or status. A low indicates that they are data.
RD, WR	10-11	INPUT/OUTPUT READ AND WRITE: These signals enable the data buffers to either send data to the external bus or receive it from the external bus.
IRQ	4	INTERRUPT REQUEST: In a keyboard mode, the interrupt line is high when there is data in the FIFO/Sensor RAM. The interrupt line goes low with each FIFO/Sensor RAM read and returns high if there is still information in the RAM. In a sensor mode, the interrupt line goes high whenever a change in a sensor is detected.
V _{SS} , V _{CC}	20, 40	GROUND AND POWER SUPPLY PINS.
SL ₀ -SL ₃	32-35	SCAN LINES: Scan lines which are used to scan the key switch or sensor matrix and the display digits. These lines can be either encoded (1 of 16) or decoded (1 of 4).
RL ₀ -RL ₇	38, 39, 1, 2, 5-8	RETURN LINE: Return line inputs which are connected to the scan lines through the keys or sensor switches. They have active internal pullups to keep them high until a switch closure pulls one low. They also serve as an 8-bit input in the Strobed Input mode.
SHIFT	36	SHIFT: The shift input status is stored along with the key position on key closure in the Scanned Keyboard modes. It has an active internal pullup to keep it high until a switch closure pulls it low.
CNTL/STB	37	CONTROL/STROBED INPUT MODE: For keyboard modes this line is used as a control input and stored like status on a key closure. The line is also the strobe line that enters the data into the FIFO in the Strobed Input mode. (Rising Edge). It has an active internal pullup to keep it high until a switch closure pulls it low.
OUT A ₀ -OUT A ₃ OUT B ₀ -OUT B ₃	27-24 31-28	OUTPUTS: These two ports are the outputs for the 16 x 4 display refresh registers. The data from these outputs is synchronized to the scan lines (SL ₀ -SL ₃) for multiplexed digit displays. The two 4 bit ports may be blanked independently. These two ports may also be considered as one 8-bit port.
BD	23	BLANK DISPLAY: This output is used to blank the display during digit switching or by a display blanking command.

FUNCTIONAL DESCRIPTION

Since data input and display are an integral part of many microprocessor designs, the system designer needs an interface that can control these functions without placing a large load on the CPU. The 8279 provides this function for 8-bit microprocessors.

The 8279 has two sections: keyboard and display. The keyboard section can interface to regular typewriter style keyboards or random toggle or thumb switches. The display section drives alphanumeric displays or a bank of indicator lights. Thus the CPU is relieved from scanning the keyboard or refreshing the display.

The 8279 is designed to directly connect to the microprocessor bus. The CPU can program all operating modes for the 8279. These modes include:

Input Modes

- Scanned Keyboard—with encoded (8 x 8 key keyboard) or decoded (4 x 8 key keyboard) scan lines. A key depression generates a 6-bit encoding of key position. Position and shift and control status are stored in the FIFO. Keys are automatically debounced with 2-key lockout or N-key rollover.
- Scanned Sensor Matrix—with encoded (8 x 8 matrix switches) or decoded (4 x 8 matrix switches) scan lines. Key status (open or closed) stored in RAM addressable by CPU.
- Strobed Input—Data on return lines during control line strobe is transferred to FIFO.

Output Modes

- 8 or 16 character multiplexed displays that can be organized as dual 4-bit or single 8-bit ($B_0 = D_0, A_3 = D_7$).
- Right entry or left entry display formats.

Other features of the 8279 include:

- Mode programming from the CPU.
- Clock Prescaler
- Interrupt output to signal CPU when there is keyboard or sensor data available.
- An 8 byte FIFO to store keyboard information.
- 16 byte internal Display RAM for display refresh. This RAM can also be read by the CPU.

PRINCIPLES OF OPERATION

The following is a description of the major elements of the 8279 Programmable Keyboard/Display interface device. Refer to the block diagram in Figure 3.

I/O Control and Data Buffers

The I/O control section uses the \overline{CS} , A_0 , \overline{RD} and \overline{WR} lines to control data flow to and from the various internal registers and buffers. All data flow to and from the 8279 is enabled by \overline{CS} . The character of the information, given or desired by the CPU, is identified by A_0 . A logic one means the information is a command or status. A logic zero means the information is data. \overline{RD} and \overline{WR} determine the direction of data flow through the Data Buffers. The Data Buffers are bi-directional buffers that connect the internal bus to the external bus. When the chip is not selected ($\overline{CS} = 1$), the devices are in a high impedance state. The drivers input during $\overline{WR} \bullet \overline{CS}$ and output during $\overline{RD} \bullet \overline{CS}$.

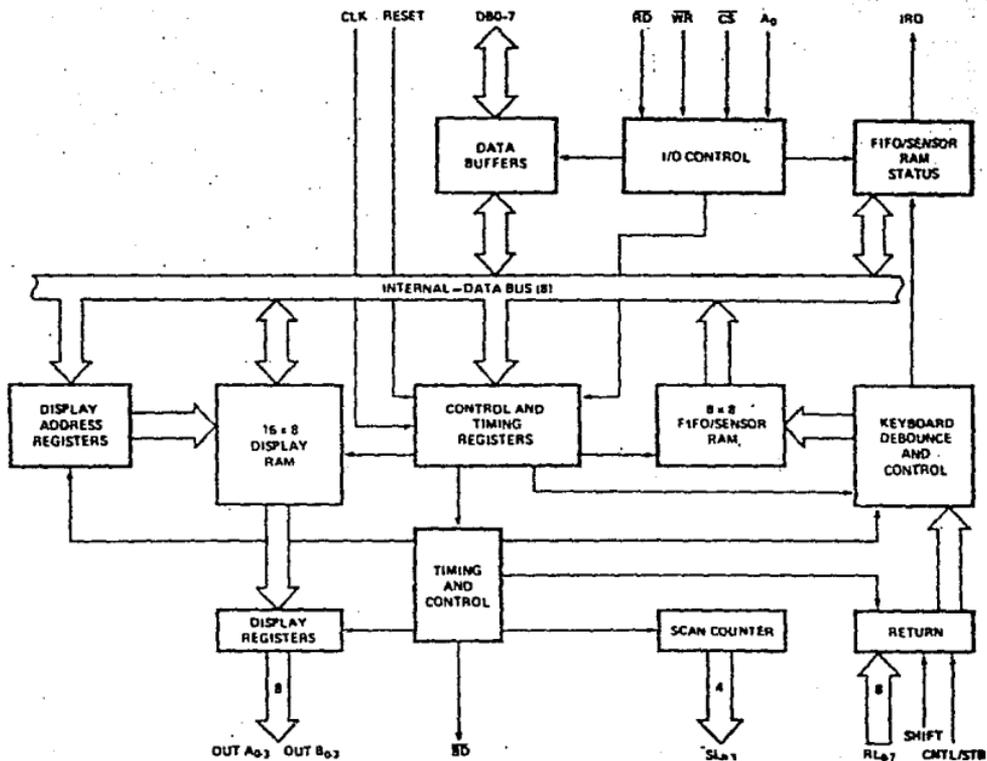
Control and Timing Registers and Timing Control

These registers store the keyboard and display modes and other operating conditions programmed by the CPU. The modes are programmed by presenting the proper command on the data lines with $A_0 = 1$ and then sending a \overline{WR} . The command is latched on the rising edge of \overline{WR} . The command is then decoded and the appropriate function is set. The timing control contains the basic timing counter chain. The first counter is a $\div N$ prescaler that can be programmed to yield an internal frequency of 100 kHz which gives a 5.1 ms keyboard scan time and a 10.3 ms debounce time. The other counters divide down the basic internal frequency to provide the proper key scan, row scan, keyboard matrix scan, and display scan times.

Scan Counter

The scan counter has two modes. In the encoded mode, the counter provides a binary count that must be externally decoded to provide the scan lines for the keyboard and display. In the decoded mode, the scan counter decodes the least significant 2 bits and provides a decoded 1 of 4 scan. Note that when the keyboard is in decoded scan, so is the display. This means that only the first 4 characters in the Display RAM are displayed.

In the encoded mode, the scan lines are active high outputs. In the decoded mode, the scan lines are active low outputs.



290123-3

Figure 3. Internal Block Diagram

Return Buffers and Keyboard Debounce and Control

The 8 return lines are buffered and latched by the Return Buffers. In the keyboard mode, these lines are scanned, looking for key closures in that row. If the debounce circuit detects a closed switch, it waits about 10 ms to check if the switch remains closed. If it does, the address of the switch in the matrix plus the status of SHIFT and CONTROL are transferred to the FIFO. In the scanned Sensor Matrix modes, the contents of the return lines is directly transferred to the corresponding row of the Sensor RAM (FIFO) each key scan time. In Strobed Input mode, the contents of the return lines are transferred to the FIFO on the rising edge of the CNTL/STB line pulse.

FIFO/Sensor RAM and Status

This block is a dual function 8 x 8 RAM. In Keyboard or Strobed Input modes, it is a FIFO. Each new entry is written into successive RAM positions and each is then read in order of entry. FIFO status keeps track of the number of characters in the FIFO and whether it is full or empty. Too many reads or writes will be recognized as an error. The status can be read by an RD with CS low and A₀ high. The status logic also provides an IRQ signal when the FIFO is not empty. In Scanned Sensor Matrix mode, the memory is a Sensor RAM. Each row of the Sensor RAM is loaded with the status of the corresponding row of sensor in the sensor matrix. In this mode, IRQ is high if a change in a sensor is detected.

Display Address Registers and Display RAM

The Display Address Registers hold the address of the word currently being written or read by the CPU and the two 4-bit nibbles being displayed. The read/write addresses are programmed by CPU command. They also can be set to auto increment after each read or write. The Display RAM can be directly read by the CPU after the correct mode and address is set. The addresses for the A and B nibbles are automatically updated by the 8279 to match data entry by the CPU. The A and B nibbles can be entered independently or as one word, according to the mode that is set by the CPU. Data entry to the display can be set to either left or right entry. See Interface Considerations for details.

SOFTWARE OPERATION

8279 Commands

The following commands program the 8279 operating modes. The commands are sent on the Data Bus with CS low and A₀ high and are loaded to the 8279 on the rising edge of WR.

Keyboard/Display Mode Set

	MSB				LSB			
Code:	0	0	0	D	D	K	K	K

Where DD is the Display Mode and KKK is the Keyboard Mode.

DD

0 0	8 8-bit character display—Left entry
0 1	16 8-bit character display—Left entry*
1 0	8 8-bit character display—Right entry
1 1	16 8-bit character display—Right entry

For description of right and left entry, see Interface Considerations. Note that when decoded scan is set in keyboard mode, the display is reduced to 4 characters independent of display mode set.

KKK

0 0 0	Encoded Scan Keyboard—2 Key Lock-out*
0 0 1	Decoded Scan Keyboard—2-Key Lock-out
0 1 0	Encoded Scan Keyboard—N-Key Roll-over
0 1 1	Decoded Scan Keyboard—N-Key Roll-over
1 0 0	Encoded Scan Sensor Matrix
1 0 1	Decoded Scan Sensor Matrix
1 1 0	Strobed Input, Encoded Display Scan
1 1 1	Strobed Input, Decoded Display Scan

*Default after reset.

Program Clock

Code:	0	0	1	P	P	P	P
-------	---	---	---	---	---	---	---

All timing and multiplexing signals for the 8279 are generated by an internal prescaler. This prescaler divides the external clock (pin 3) by a programmable integer. Bits PPPP determine the value of this integer which ranges from 2 to 31. Choosing a divisor that yields 100 kHz will give the specified scan and

rebound times. For instance, if Pin 3 of the 8279 is being clocked by a 2 MHz signal, PPPPP should be set to 10100 to divide the clock by 20 to yield the proper 100 kHz operating frequency.

Read FIFO/Sensor RAM

Code:

0	1	0	AI	X	A	A	A
---	---	---	----	---	---	---	---

 X = Don't Care

The CPU sets the 8279 for a read of the FIFO/Sensor RAM by first writing this command. In the Scan Keyboard Mode, the Auto-Increment flag (AI) and the RAM address bits (AAA) are irrelevant. The 8279 will automatically drive the data bus for each subsequent read ($A_0 = 0$) in the same sequence in which the data first entered the FIFO. All subsequent reads will be from the FIFO until another command is issued.

In the Sensor Matrix Mode, the RAM address bits AAA select one of the 8 rows of the Sensor RAM. If the AI flag is set ($AI = 1$), each successive read will be from the subsequent row of the sensor RAM.

Read Display RAM

Code:

0	1	1	AI	A	A	A	A
---	---	---	----	---	---	---	---

The CPU sets up the 8279 for a read of the Display RAM by first writing this command. The address bits AAAA select one of the 16 rows of the Display RAM. If the AI flag is set ($AI = 1$), this row address will be incremented after each following read or write to the Display RAM. Since the same counter is used for both reading and writing, this command sets the next read or write address and the sense of the Auto-Increment mode for both operations.

Write Display RAM

Code:

1	0	0	AI	A	A	A	A
---	---	---	----	---	---	---	---

The CPU sets up the 8279 for a write to the Display RAM by first writing this command. After writing the command with $A_0 = 1$, all subsequent writes with $A_0 = 0$ will be to the Display RAM. The addressing and Auto-Increment functions are identical to those for the Read Display RAM. However, this command does not affect the source of subsequent Data Reads; the CPU will read from whichever RAM (Display of FIFO/Sensor) which was last specified. If, indeed, the Display RAM was last specified, the Write Display RAM will, nevertheless, change the next Read location.

Display Write Inhibit/Blanking

Code:

				A	B	A	B
1	0	1	X	IW	IW	BL	BL

The IW Bits can be used to mask nibble A and nibble B in applications requiring separate 4-bit display ports. By setting the IW flag ($IW = 1$) for one of the ports, the port becomes masked so that entries to the Display RAM from the CPU do not affect that port. Thus, if each nibble is input to a BCD decoder, the CPU may write a digit to the Display RAM without affecting the other digit being displayed. It is important to note that bit B_0 corresponds to bit D_0 on the CPU bus, and that bit A_3 corresponds to bit D_7 .

If the user wishes to blank the display, the BL flags are available for each nibble. The last Clear command issued determines the code to be used as a "blank." This code defaults to all zeros after a reset. Note that both BL flags must be set to blank a display formatted with a single 8-bit port.

Clear

Code:

1	1	0	C_D	C_D	C_D	C_F	C_A
---	---	---	-------	-------	-------	-------	-------

The C_D bits are available in this command to clear all rows of the Display RAM to a selectable blanking code as follows:

C_D	C_D	C_D	
0	X		All Zeros (X = Don't Care)
1	0		AB = Hex 20 (0010 0000)
1	1		All Ones

Enable clear display when = 1 (or by $C_A = 1$)

280123-13

During the time the Display RAM is being cleared (~160 μ s), it may not be written to. The most significant bit of the FIFO status word is set during this time. When the Display RAM becomes available again, it automatically resets.

If the C_F bit is asserted ($C_F = 1$), the FIFO status is cleared and the Interrupt output line is reset. Also, the Sensor RAM pointer is set to row 0.

C_A , the Clear All bit, has the combined effect of C_D and C_F ; it uses the C_D clearing code on the Display RAM and also clears FIFO status. Furthermore, it resynchronizes the internal timing chain.

End Interrupt/Error Mode Set

Code:

1	1	1	E	X	X	X	X
---	---	---	---	---	---	---	---

 X = Don't care

For the sensor matrix modes this command lowers the IRQ line and enables further writing into RAM. (The IRQ line would have been raised upon the detection of a change in a sensor value. This would have also inhibited further writing into the RAM until reset).

For the N-key rollover mode—if the E bit is programmed to "1" the chip will operate in the special Error mode. (For further details, see Interface Considerations Section.)

Status Word

The status word contains the FIFO status, error, and display unavailable signals. This word is read by the CPU when A_0 is high and \overline{CS} and \overline{RD} are low. See Interface Considerations for more detail on status word.

Data Read

Data is read when A_0 , \overline{CS} and \overline{RD} are all low. The source of the data is specified by the Read FIFO or Read Display commands. The trailing edge of \overline{RD} will cause the address of the RAM being read to be incremented if the Auto-Increment flag is set. FIFO reads always increment (if no error occurs) independent of AI.

Data Write

Data that is written with A_0 , \overline{CS} and \overline{WR} low is always written to the Display RAM. The address is specified by the latest Read Display or Write Display command. Auto-incrementing on the rising edge of \overline{WR} occurs if AI is set by the latest display command.

INTERFACE CONSIDERATIONS

Scanned Keyboard Mode, 2-Key Lockout

There are three possible combinations of conditions that can occur during debounce scanning. When a key is depressed, the debounce logic is set. Other depressed keys are looked for during the next two scans. If none are encountered, it is a single key depression and the key position is entered into the

FIFO along with the status of CNTL and SHIFT lines. If the FIFO was empty, IRQ will be set to signal the CPU that there is an entry in the FIFO. If the FIFO was full, the key will not be entered and the error flag will be set. If another closed switch is encountered, no entry to the FIFO can occur. If all other keys are released before this one, then it will be entered to the FIFO. If this key is released before any other, it will be entirely ignored. A key is entered to the FIFO only once per depression, no matter how many keys were pressed along with it or in what order they were released. If two keys are depressed within the debounce cycle, it is a simultaneous depression. Neither key will be recognized until one key remains depressed alone. The last key will be treated as a single key depression.

Scanned Keyboard Mode, N-Key Rollover

With N-key Rollover each key depression is treated independently from all others. When a key is depressed, the debounce circuit waits 2 keyboard scans and then checks to see if the key is still down. If it is, the key is entered into the FIFO. Any number of keys can be depressed and another can be recognized and entered into the FIFO. If a simultaneous depression occurs, the keys are recognized and entered according to the order the keyboard scan found them.

Scanned Keyboard—Special Error Modes

For N-key rollover mode the user can program a special error mode. This is done by the "End Interrupt/Error Mode Set" command. The debounce cycle and key-validity check are as in normal N-key mode. If during a single debounce cycle, two keys are found depressed, this is considered a simultaneous multiple depression, and sets an error flag. This flag will prevent any further writing into the FIFO and will set interrupt (if not yet set). The error flag could be read in this mode by reading the FIFO STATUS word. (See "FIFO STATUS" for further details.) The error flag is reset by sending the normal CLEAR command with CF = 1.

Sensor Matrix Mode

In Sensor Matrix mode, the debounce logic is inhibited. The status of the sensor switch is inputted directly to the Sensor RAM. In this way the Sensor RAM keeps an image of the state of the switches in the sensor matrix. Although debouncing is not provided, this mode has the advantage that the CPU knows how long the sensor was closed and when it

was released. A keyboard mode can only indicate a validated closure. To make the software easier, the designer should functionally group the sensors by row since this is the format in which the CPU will read them.

The IRQ line goes high if any sensor value change is detected at the end of a sensor matrix scan. The IRQ line is cleared by the first data read operation if the Auto-Increment flag is set to zero, or by the End Interrupt command if the Auto-Increment flag is set to one.

NOTE:

Multiple changes in the matrix Addressed by (SL₀₋₃ = 0) may cause multiple interrupts. (SL₀ = 0 in the Decoded Mode.) Reset may cause the 8279 to see multiple changes.

Data Format

In the Scanned Keyboard mode, the character entered into the FIFO corresponds to the position of the switch in the keyboard plus the status of the CNTL and SHIFT lines (non-inverted). CNTL is the MSB of the character and SHIFT is the next most significant bit. The next three bits are from the scan counter and indicate the row the key was found in. The last three bits are from the column counter and indicate to which return line the key was connected.

MSB			LSB							
CNTL	SHIFT	SCAN	RL ₇	RL ₆	RL ₅	RL ₄	RL ₃	RL ₂	RL ₁	RL ₀

SCANNED KEYBOARD DATA FORMAT

In Sensor Matrix mode, the data on the return lines is entered directly in the row of the Sensor RAM that corresponds to the row in the matrix being scanned. Therefore, each switch position maps directly to a Sensor RAM position. The SHIFT and CNTL inputs are ignored in this mode. Note that switches are not necessarily the only thing that can be connected to the return lines in this mode. Any logic that can be triggered by the scan lines can enter data to the return line inputs. Eight multiplexed input ports could be tied to the return lines and scanned by the 8279.

MSB							LSB				
RL ₇	RL ₆	RL ₅	RL ₄	RL ₃	RL ₂	RL ₁	RL ₀				

In Strobed Input mode, the data is also entered to the FIFO from the return lines. The data is entered

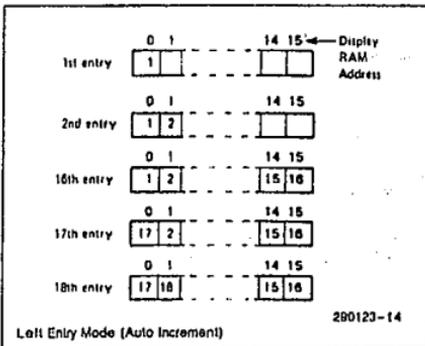
by the rising edge of a CNTL/STB line pulse. Data can come from another encoded keyboard or simple switch matrix. The return lines can also be used as a general purpose strobed input.

MSB							LSB				
RL ₇	RL ₆	RL ₅	RL ₄	RL ₃	RL ₂	RL ₁	RL ₀				

Display

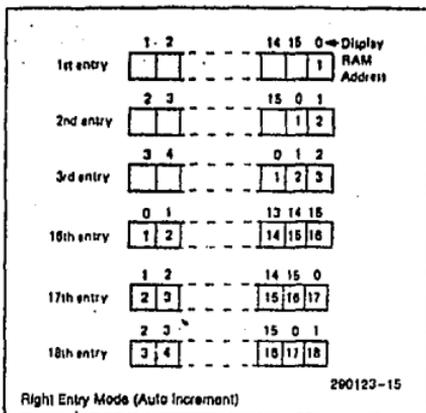
Left Entry

Left Entry mode is the simplest display format in that each display position directly corresponds to a byte (or nibble) in the Display RAM. Address 0 in the RAM is the left-most display character and address 15 (or address 7 in 8 character display) is the right most display character. Entering characters from position zero causes the display to fill from the left. The 17th (9th) character is entered back in the left most position and filling again proceeds from there.



Right Entry

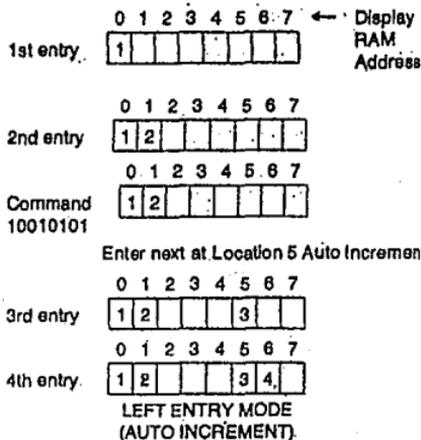
Right entry is the method used by most electronic calculators. The first entry is placed in the right most display character. The next entry is also placed in the right most character after the display is shifted left one character. The left most character is shifted off the end and is lost.



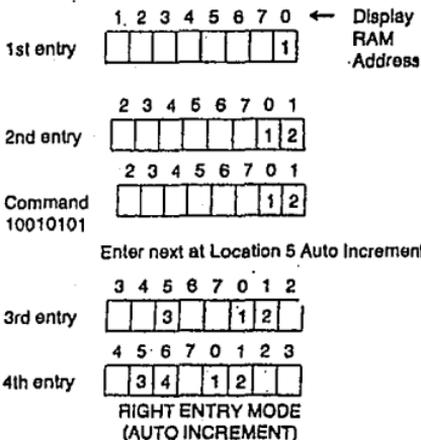
Note that now the display position and register address do not correspond. Consequently, entering a character to an arbitrary position in the Auto Increment mode may have unexpected results. Entry starting at Display RAM address 0 with sequential entry is recommended.

Auto Increment

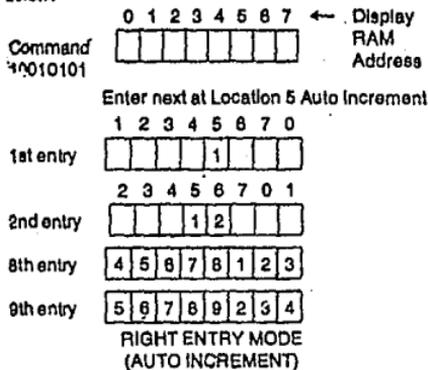
In the Left Entry mode, Auto Incrementing causes the address where the CPU will next write to be incremented by one and the character appears in the next location. With non-Auto Incrementing the entry is both to the same RAM address and display position. Entry to an arbitrary address in the Auto Increment mode has no undesirable side effects and the result is predictable:



In the Right Entry mode, Auto Incrementing and non Incrementing have the same effect as in the Left Entry except if the address sequence is interrupted.



Starting at an arbitrary location operates as shown below:



Entry appears to be from the initial entry point.

8/16 Character Display Formats

If the display mode is set to an 8 character display, the on duty-cycle is double what it would be for a 16 character display (e.g., 5.1 ms scan time for 8 characters vs. 10.3 ms for 16 characters with 100 kHz internal frequency).

3. FIFO Status

FIFO status is used in the Keyboard and Strobed Input modes to indicate the number of characters in

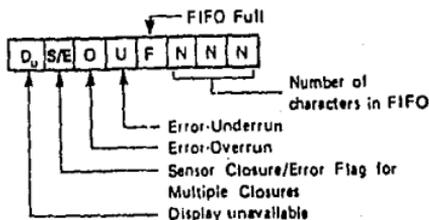
the FIFO and to indicate whether an error has occurred. There are two types of errors possible: overrun and underrun. Overrun occurs when the entry of another character into a full FIFO is attempted. Underrun occurs when the CPU tries to read an empty FIFO.

The FIFO status word also has a bit to indicate that the Display RAM was unavailable because a Clear Display or Clear All command had not completed its clearing operation.

In a Sensor Matrix mode, a bit is set in the FIFO status word to indicate that at least one sensor closure indication is contained in the Sensor RAM.

In Special Error Mode the S/E bit is showing the error flag and serves as an indication to whether a simultaneous multiple closure error has occurred.

FIFO STATUS WORD



290123-4

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS*

Ambient Temperature	0°C to 70°C
Storage Temperature	-65°C to 125°C
Voltage on any Pin with Respect to Ground	-0.5V to +7V
Power Dissipation	1 Watt

*Notice: Stresses above those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

D.C. CHARACTERISTICS $T_A = 0^\circ\text{C to } 70^\circ\text{C}$ $V_{SS} = 0\text{V}$ (Note 3)*

Symbol	Parameter	Min	Max	Unit	Test Conditions
V_{IL1}	Input Low Voltage for Return Lines	-0.5	1.4	V	
V_{IL2}	Input Low Voltage for All Others	-0.5	0.8	V	
V_{IH1}	Input High Voltage for Return Lines	2.2		V	
V_{IH2}	Input High Voltage for All Others	2.0		V	
V_{OL}	Output Low Voltage		0.45	V	(Note 1)
V_{OH1}	Output High Voltage on Interrupt Line	3.5		V	(Note 2)
V_{OH2}	Other Outputs	2.4			$I_{OH} = -400 \mu\text{A}$ 8279-5 $-100 \mu\text{A}$ 8279
I_{IL1}	Input Current on Shift, Control and Return Lines		+10 -100	μA	$V_{IN} = V_{CC}$ $V_{IN} = 0\text{V}$
I_{IL2}	Input Leakage Current on All Others		± 10	μA	$V_{IN} = V_{CC}$ to 0V
I_{OFL}	Output Float Leakage		± 10	μA	$V_{OUT} = V_{CC}$ to 0.45V
I_{CC}	Power Supply Current		120	mA	
C_{IN}	Input Capacitance		10	pF	$f_C = 1$ MHz Unmeasured Pins Returned to $V_{SS}^{(6)}$
C_{OUT}	Output Capacitance		20	pF	

A.C. CHARACTERISTICS $T_A = 0^\circ\text{C to } 70^\circ\text{C}$, $V_{SS} = 0\text{V}$ (Note 3)*

Bus Parameters
READ CYCLE

Symbol	Parameter	8279		8279-5		Unit
		Min	Max	Min	Max	
t_{AR}	Address Stable Before READ	50		0		ns
t_{RA}	Address Hold Time for READ	5		0		ns
t_{RR}	READ Pulse Width	420		250		ns
$t_{RD}^{(4)}$	Data Delay from READ		300		150	ns
$t_{AD}^{(4)}$	Address to Data Valid		450		250	ns
t_{DF}	READ to Data Floating	10	100	10	100	ns
t_{RCY}	Read Cycle Time	1		1		μs
t_{AW}	Address Stable Before WRITE	50		0		ns
t_{WA}	Address Hold Time for WRITE	20		0		ns

A.C. CHARACTERISTICS (Continued)

WRITE CYCLE

Symbol	Parameter	8279		8279-5		Unit
		Min	Max	Min	Max	
t_{ww}	WRITE Pulse Width	400		250		ns
t_{dw}	Data Set Up Time for WRITE	300		150		ns
t_{wd}	Data Hold Time for WRITE	40		0		ns
t_{wc}	Write Cycle Time	1		1		μ s

OTHER TIMINGS

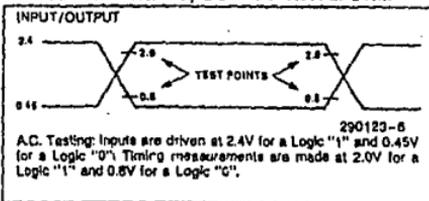
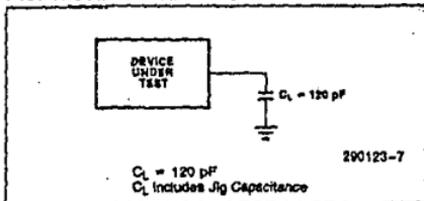
Symbol	Parameter	8279		8279-5		Unit
		Min	Max	Min	Max	
t_{pw}	Clock Pulse Width	230		120		ns
t_{cy}	Clock Period	500		320		ns

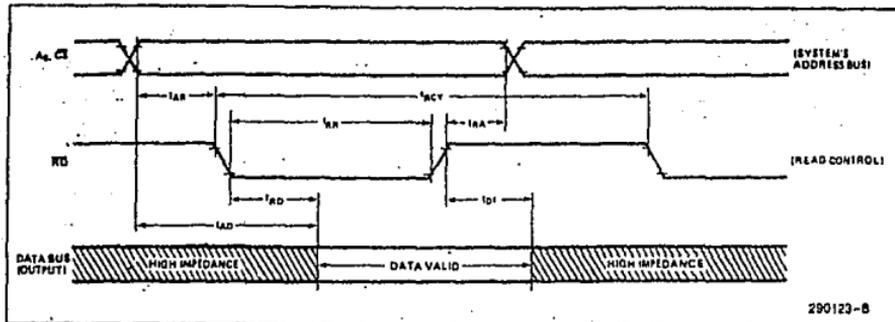
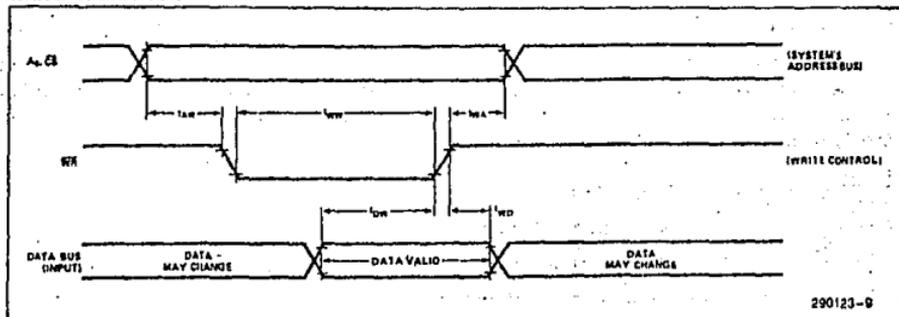
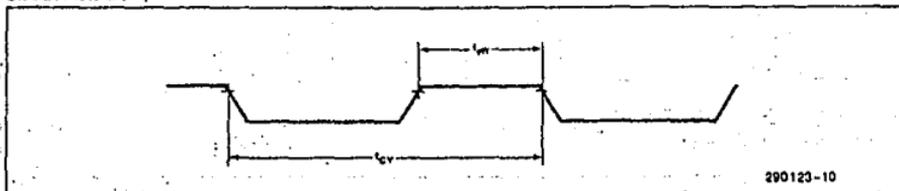
Keyboard Scan Time 5.1 ms
 Keyboard Debounce Time 10.3 ms
 Key Scan Time 80 μ s
 Display Scan Time 10.3 ms

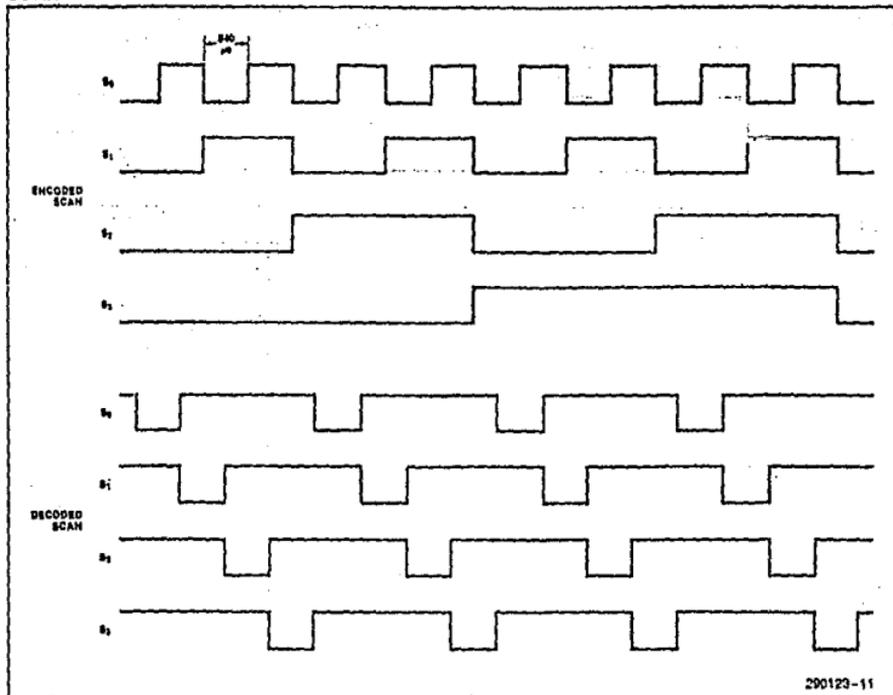
Digit-on Time 480 μ s
 Blanking Time 160 μ s
 Internal Clock Cycle⁽⁵⁾ 10 μ s

NOTES:

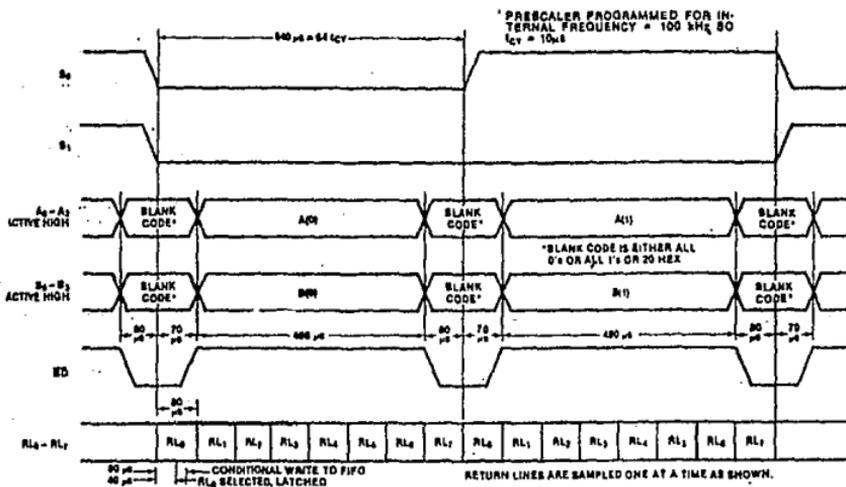
- 8279, $I_{OL} = 1.6$ mA; 8279-5, $I_{OL} = 2.2$ mA.
- $I_{OH} = -100$ μ A
- 8279, $V_{CC} = +5V \pm 5\%$; 8279-5, $V_{CC} = +5V \pm 10\%$
- 8279, $C_L = 100$ pF; 8279-5, $C_L = 150$ pF.
- The Prescaler should be programmed to provide a 10 μ s internal clock cycle.
- Sampled not 100% tested. $T_A = 25^\circ\text{C}$.
- For Extended Temperature EXPRESS, use M8279A electrical parameters.

A.C. TESTING INPUT, OUTPUT WAVEFORM

A.C. TESTING LOAD CIRCUIT


WAVEFORMS
READ OPERATION

WRITE OPERATION

CLOCK INPUT


WAVEFORMS (Continued)
SCAN


290123-11

WAVEFORMS (Continued)
DISPLAY


290123-12

NOTE:

Shown is encoded scan left entry

 $S_2 - S_3$ are not shown but they are simply S_1 divided by 2 and 4.

PROGRAMMABLE PERIPHERAL

INTERFACE 8255A/8255A-5.



8255A/8255A-5 PROGRAMMABLE PERIPHERAL INTERFACE

- MCS-85™ Compatible 8255A-5
- 24 Programmable I/O Pins
- Completely TTL Compatible
- Fully Compatible with Intel Microprocessor Families
- Improved Timing Characteristics

- Direct Bit Set/Reset Capability Easing Control Application Interface
 - Reduces System Package Count
 - Improved DC Driving Capability
 - Available in EXPRESS
 - Standard Temperature Range
 - Extended Temperature Range
 - 40 Pin DIP Package or 44 Lead PLCC
- (See Intel Packaging: Order Number: 231308)

The Intel 8255A is a general purpose programmable I/O device designed for use with Intel microprocessors. It has 24 I/O pins which may be individually programmed in 2 groups of 12 and used in 3 major modes of operation. In the first mode (MODE 0), each group of 12 I/O pins may be programmed in sets of 4 to be input or output. In MODE 1, the second mode, each group may be programmed to have 8 lines of input or output. Of the remaining 4 pins, 3 are used for handshaking and interrupt control signals. The third mode of operation (MODE 2) is a bidirectional bus mode which uses 8 lines for a bidirectional bus, and 5 lines, borrowing one from the other group, for handshaking.

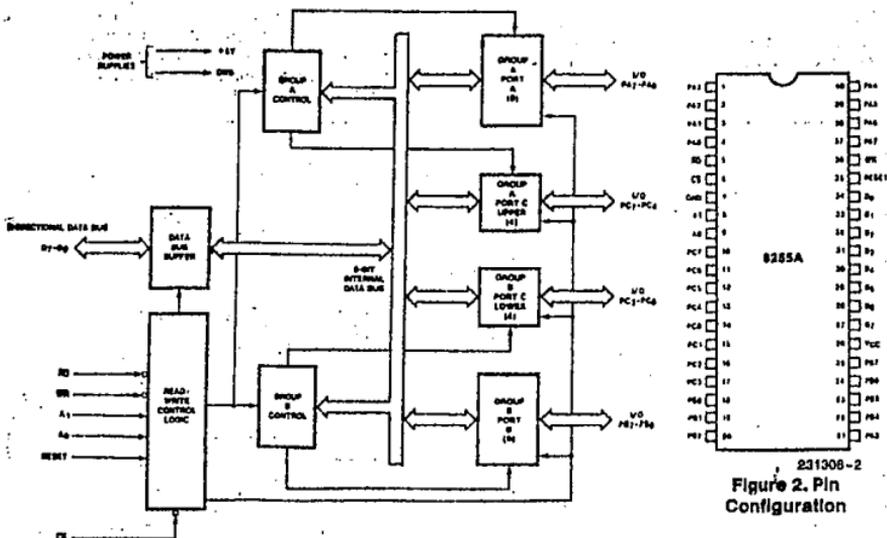


Figure 1. 8255A Block Diagram

Figure 2. Pin Configuration

8255A FUNCTIONAL DESCRIPTION

General

The 8255A is a programmable peripheral interface (PPI) device designed for use in Intel microcomputer systems. Its function is that of a general purpose I/O component to interface peripheral equipment to the microcomputer system bus. The functional configuration of the 8255A is programmed by the system software so that normally no external logic is necessary to interface peripheral devices or structures.

Data Bus Buffer

This 3-state bidirectional 8-bit buffer is used to interface the 8255A to the system data bus. Data is transmitted or received by the buffer upon execution of input or output instructions by the CPU. Control words and status information are also transferred through the data bus buffer.

Read/Write and Control Logic

The function of this block is to manage all of the internal and external transfers of both Data and Control or Status words. It accepts inputs from the

CPU Address and Control buses and in turn, issues commands to both of the Control Groups.

 (\overline{CS})

Chip Select. A "low" on this input pin enables the communication between the 8255A and the CPU.

 (\overline{RD})

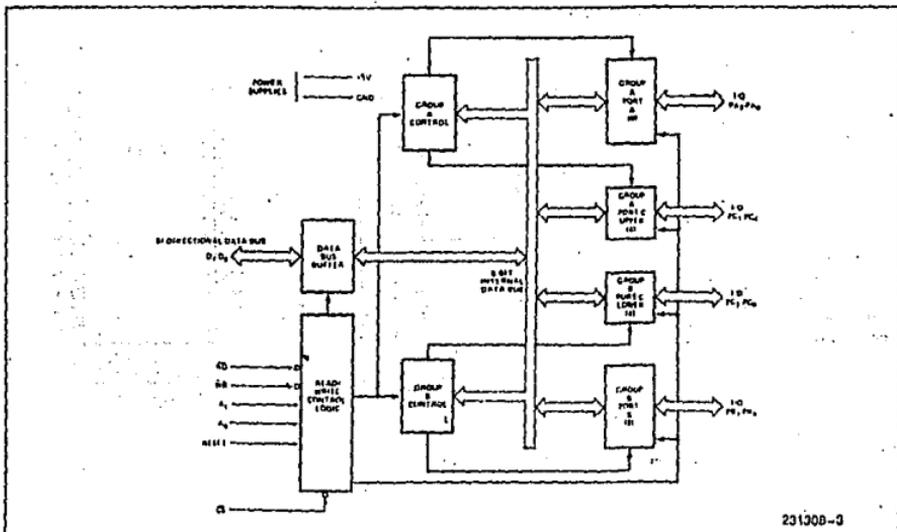
Read. A "low" on this input pin enables the 8255A to send the data or status information to the CPU on the data bus. In essence, it allows the CPU to "read from" the 8255A.

 (\overline{WR})

Write. A "low" on this input pin enables the CPU to write data or control words into the 8255A.

 $(A_0$ and $A_1)$

Port Select 0 and Port Select 1. These input signals, in conjunction with the RD and WR inputs, control the selection of one of the three ports or the control word registers. They are normally connected to the least significant bits of the address bus (A_0 and A_1).



231308-3

Figure 3. 8255A Block Diagram Showing Data Bus Buffer and Read/Write Control Logic Functions

8255A BASIC OPERATION

A ₁	A ₀	RD	WR	CS	Input Operation (READ)
0	0	0	1	0	Port A → Data Bus
0	1	0	1	0	Port B → Data Bus
1	0	0	1	0	Port C → Data Bus
					Output Operation (WRITE)
0	0	1	0	0	Data Bus → Port A
0	1	1	0	0	Data Bus → Port B
1	0	1	0	0	Data Bus → Port C
1	1	1	0	0	Data Bus → Control
					Disable Function
X	X	X	X	1	Data Bus → 3-State
1	1	0	1	0	Illegal Condition
X	X	1	1	0	Data Bus → 3-State

(RESET)

Reset. A "high" on this input clears the control register and all ports (A, B, C) are set to the input mode.

Group A and Group B Controls

The functional configuration of each port is programmed by the systems software. In essence, the CPU "outputs" a control word to the 8255A. The control word contains information such as "mode", "bit set", "bit reset", etc., that initializes the functional configuration of the 8255A.

Each of the Control blocks (Group A and Group B) accepts "commands" from the Read/Write Control Logic, receives "control words" from the internal data bus and issues the proper commands to its associated ports.

Control Group A—Port A and Port C upper (C7-C4)

Control Group B—Port B and Port C lower (C3-C0)

The Control Word Register can Only be written into. No Read operation of the Control Word Register is allowed.

Ports A, B, and C

The 8255A contains three 8-bit ports (A, B, and C). All can be configured in a wide variety of functional characteristics by the system software but each has its own special features or "personality" to further enhance the power and flexibility of the 8255A.

Port A. One 8-bit data output latch/buffer and one 8-bit data input latch.

Port B. One 8-bit data input/output latch/buffer and one 8-bit data input buffer.

Port C. One 8-bit data output latch/buffer and one 8-bit data input buffer (no latch for input). This port can be divided into two 4-bit ports under the mode control. Each 4-bit port contains a 4-bit latch and it can be used for the control signal outputs and status signal inputs in conjunction with ports A and B.

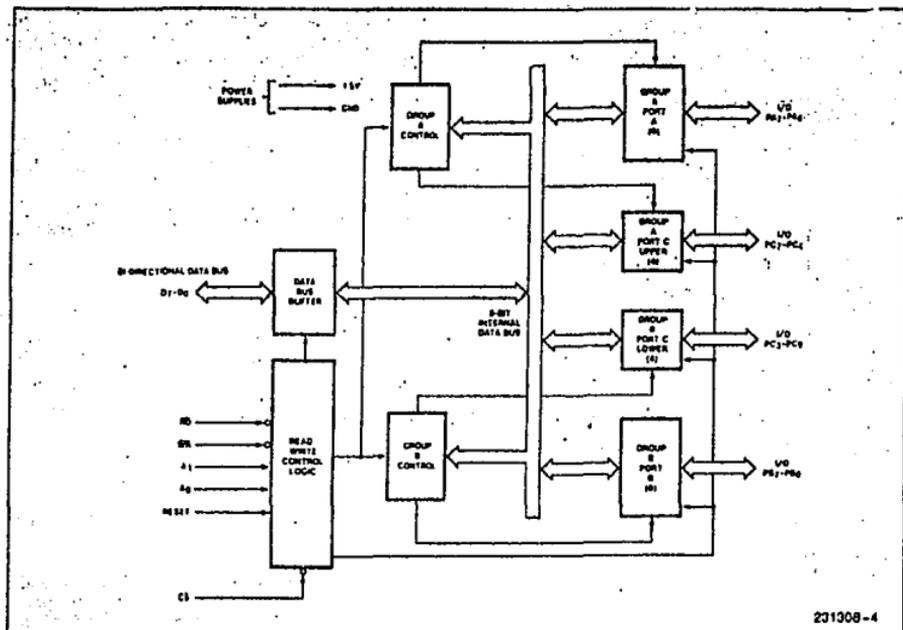
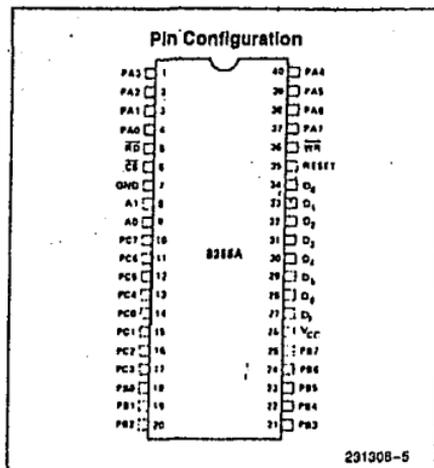


Figure 4. 8255A Block Diagram Showing Group A and Group B Control Functions



201308-5

Pin Names

D7-D0	Data Bus (Bi-Directional)
RESET	Reset Input
CS	Chip Select
RD	Read Input
WR	Write Input
A0, A1	Port Address
PA7-PA0	Port A (BIT)
PB7-PB0	Port B (BIT)
PC7-PC0	Port C (BIT)
VCC	+5 Volts
GND	0.Volts

8255A OPERATIONAL DESCRIPTION

Mode Selection

There are three basic modes of operation that can be selected by the system software:

Mode 0—Basic Input/Output
Mode 1—Strobed Input/Output
Mode 2—Bi-Directional Bus

When the reset input goes "high" all ports will be set to the input mode (i.e., all 24 lines will be in the high impedance state). After the reset is removed the 8255A can remain in the input mode with no additional initialization required. During the execution of the system program any of the other modes may be selected using a single output instruction. This allows a single 8255A to service a variety of peripheral devices with a simple software maintenance routine.

The modes for Port A and Port B can be separately defined, while Port C is divided into two portions as required by the Port A and Port B definitions. All of the output registers, including the status flip-flops, will be reset whenever the mode is changed. Modes may be combined so that their functional definition can be "tailored" to almost any I/O structure. For instance; Group B can be programmed in Mode 0 to monitor simple switch closings or display computational results, Group A could be programmed in Mode 1 to monitor a keyboard or tape reader on an interrupt-driven basis.

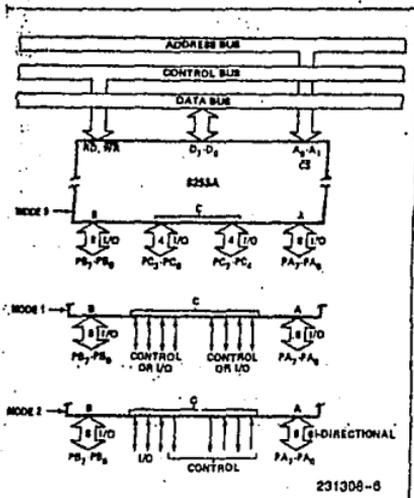


Figure 5. Basic Mode Definitions and Bus Interface

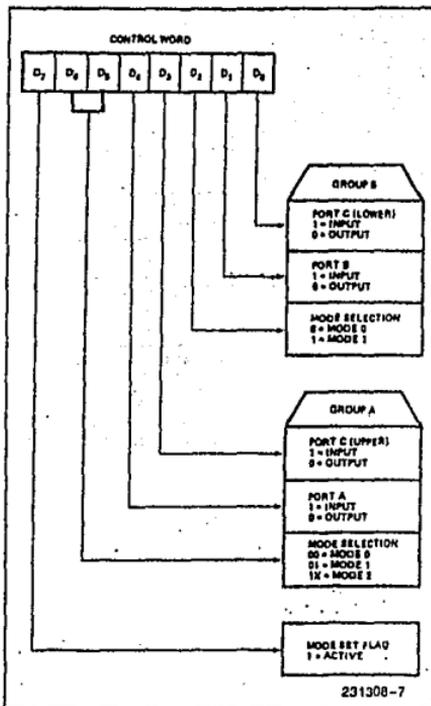


Figure 6. Mode Definition Format

The mode definitions and possible mode combinations may seem confusing at first but after a cursory review of the complete device operation a simple, logical I/O approach will surface. The design of the 8255A has taken into account things such as efficient PC board layout, control signal definition vs PC layout and complete functional flexibility to support almost any peripheral device with no external logic. Such design represents the maximum use of the available pins.

Single Bit Set/Reset Feature

Any of the eight bits of Port C can be Set or Reset using a single OUTPUT instruction. This feature reduces software requirements in Control-based applications.

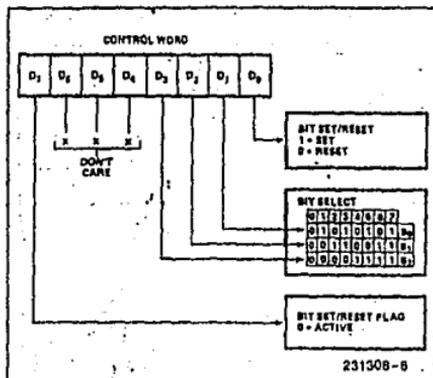


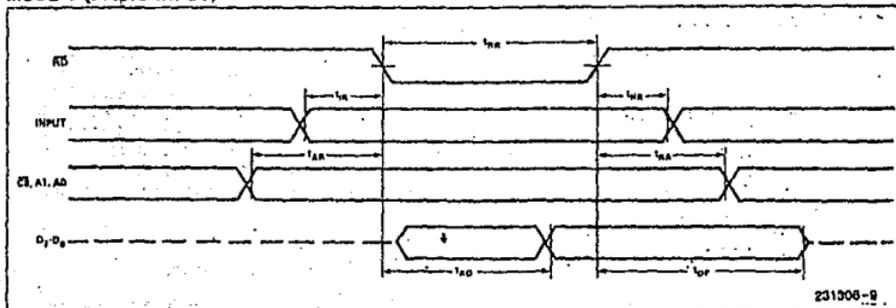
Figure 7. Bit Set/Reset Format

When Port C is being used as status/control for Port A or B, these bits can be set or reset by using the Bit Set/Reset operation just as if they were data output ports.

Interrupt Control Functions

When the 8255A is programmed to operate in mode 1 or mode 2, control signals are provided that can be used as interrupt request inputs to the CPU. The interrupt request signals, generated from port C, can be inhibited or enabled by setting or resetting the associated INTE flip-flop, using the bit set/reset function of port C.

MODE 0 (BASIC INPUT)



This function allows the Programmer to disallow or allow a specific I/O device to interrupt the CPU without affecting any other device in the interrupt structure.

INTE flip-flop definition:

(BIT-SET)—INTE is set—Interrupt enable.

(BIT-RESET)—INTE is RESET—Interrupt disable.

NOTE:

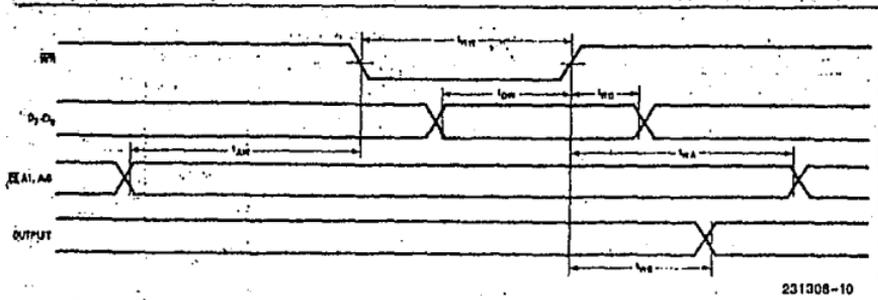
All Mask flip-flops are automatically reset during mode selection and device Reset.

Operating Modes

MODE 0 (Basic Input/Output). This functional configuration provides simple input and output operations for each of the three ports. No "handshaking" is required, data is simply written to or read from a specified port.

Mode 0 Basic Functional Definitions:

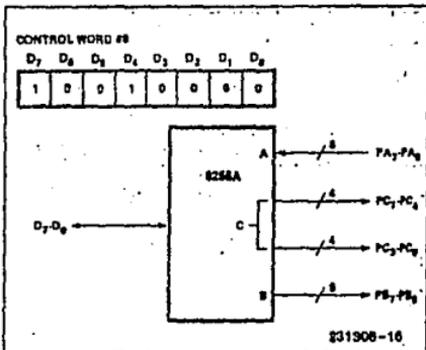
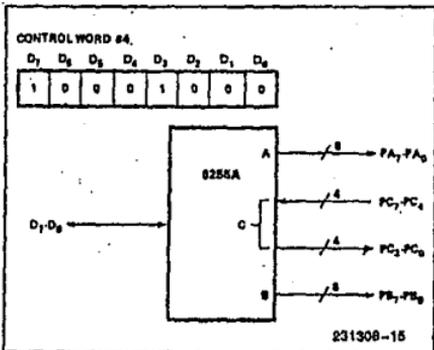
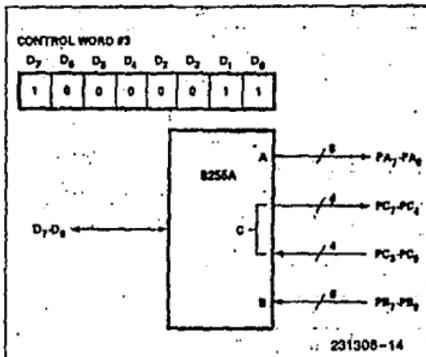
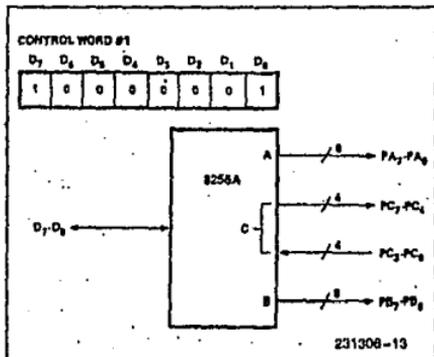
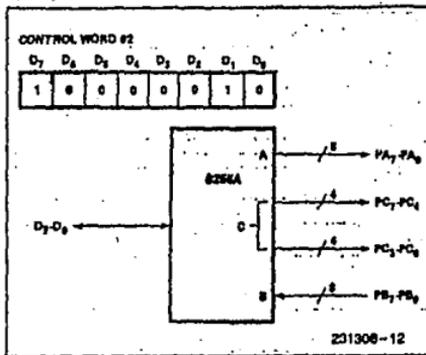
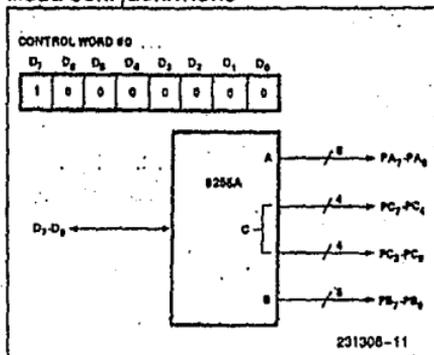
- Two 8-bit ports and two 4-bit ports.
- Any port can be input or output.
- Outputs are latched.
- Inputs are not latched.
- 16 different Input/Output configurations are possible in this Mode.

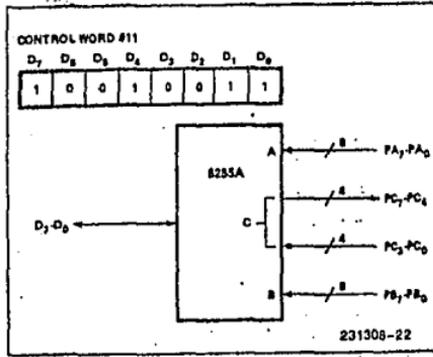
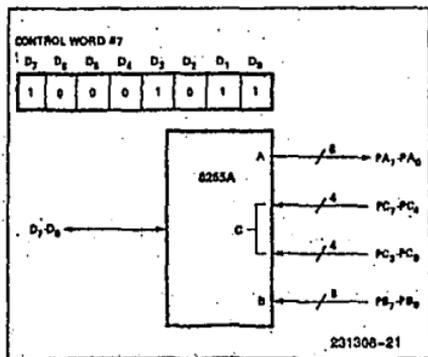
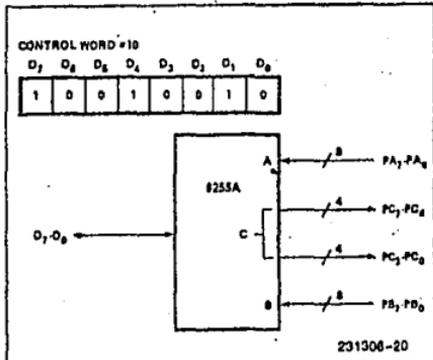
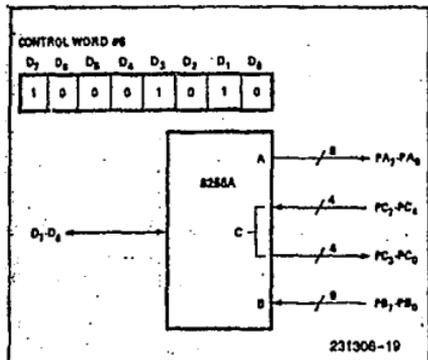
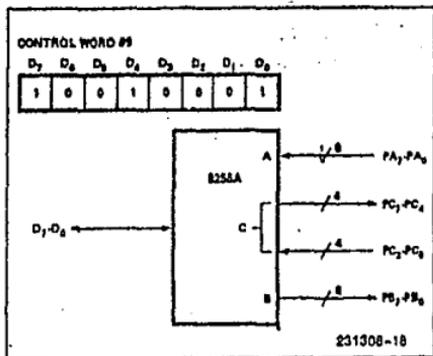
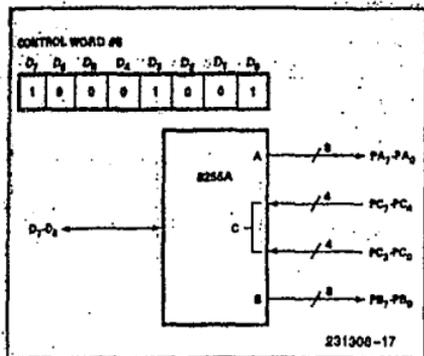
MODE 0 (BASIC OUTPUT)


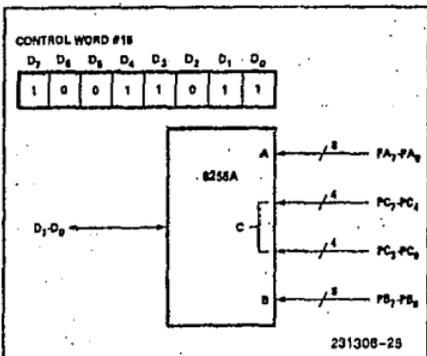
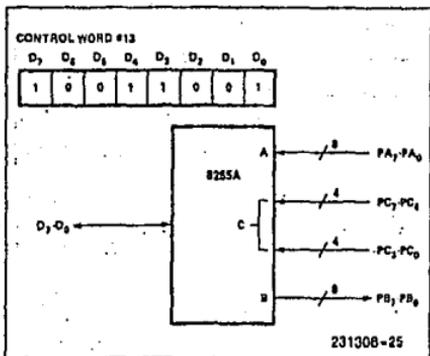
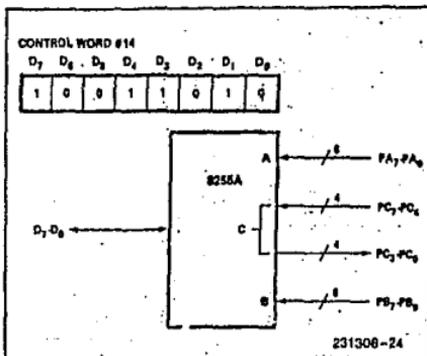
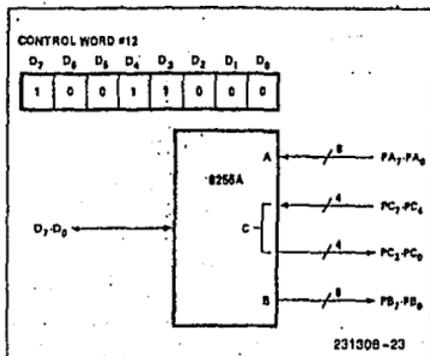
231308-10

MODE 0 PORT DEFINITION

A		B		Group A			Group B	
D ₄	D ₃	D ₁	D ₀	Port A	Port C (Upper)	#	Port B	Port C (Lower)
0	0	0	0	OUTPUT	OUTPUT	0	OUTPUT	OUTPUT
0	0	0	1	OUTPUT	OUTPUT	1	OUTPUT	INPUT
0	0	1	0	OUTPUT	OUTPUT	2	INPUT	OUTPUT
0	0	1	1	OUTPUT	OUTPUT	3	INPUT	INPUT
0	1	0	0	OUTPUT	INPUT	4	OUTPUT	OUTPUT
0	1	0	1	OUTPUT	INPUT	5	OUTPUT	INPUT
0	1	1	0	OUTPUT	INPUT	6	INPUT	OUTPUT
0	1	1	1	OUTPUT	INPUT	7	INPUT	INPUT
1	0	0	0	INPUT	OUTPUT	8	OUTPUT	OUTPUT
1	0	0	1	INPUT	OUTPUT	9	OUTPUT	INPUT
1	0	1	0	INPUT	OUTPUT	10	INPUT	OUTPUT
1	0	1	1	INPUT	OUTPUT	11	INPUT	INPUT
1	1	0	0	INPUT	INPUT	12	OUTPUT	OUTPUT
1	1	0	1	INPUT	INPUT	13	OUTPUT	INPUT
1	1	1	0	INPUT	INPUT	14	INPUT	OUTPUT
1	1	1	1	INPUT	INPUT	15	INPUT	INPUT

MODE CONFIGURATIONS






Operating Modes

MODE 1 (Strobed Input/Output). This functional configuration provides a means for transferring I/O data to or from a specified port in conjunction with strobes or "handshaking" signals. In mode 1, port A and port B use the lines on port C to generate or accept these "handshaking" signals.

Mode 1 Basic Functional Definitions:

- Two Groups (Group A and Group B)
- Each group contains one 8-bit data port and one 4-bit control/data port.
- The 8-bit data port can be either input or output. Both inputs and outputs are latched.
- The 4-bit port is used for control and status of the 8-bit data port.

Input Control Signal Definition

STB (Strobe Input). A "low" on this input loads data into the input latch.

IBF (Input Buffer Full F/F)

A "high" on this output indicates that the data has been loaded into the input latch; in essence, an acknowledgement. IBF is set by STB input being low and is reset by the rising edge of the RD input.

INTR (Interrupt Request)

A "high" on this output can be used to interrupt the CPU when an input device is requesting service. INTR is set by the STB is a "one", IBF is a "one" and INTE is a "one". It is reset by the falling edge of RD. This procedure allows an input device to request service from the CPU by simply strobing its data into the port.

INTE A

 Controlled by bit set/reset of PC₄.

INTE B

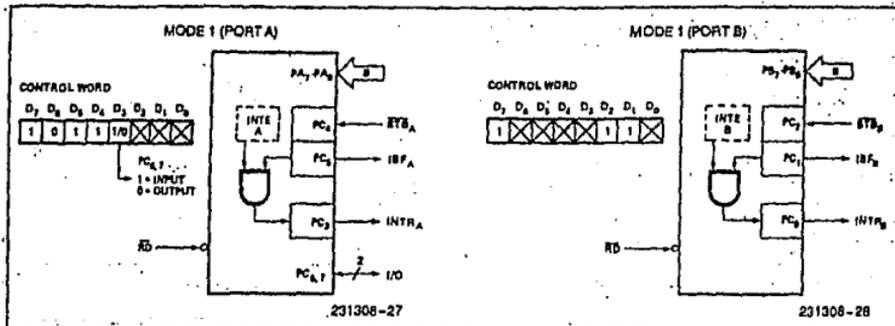
 Controlled by bit set/reset of PC₂.


Figure 8. MODE 1 Input

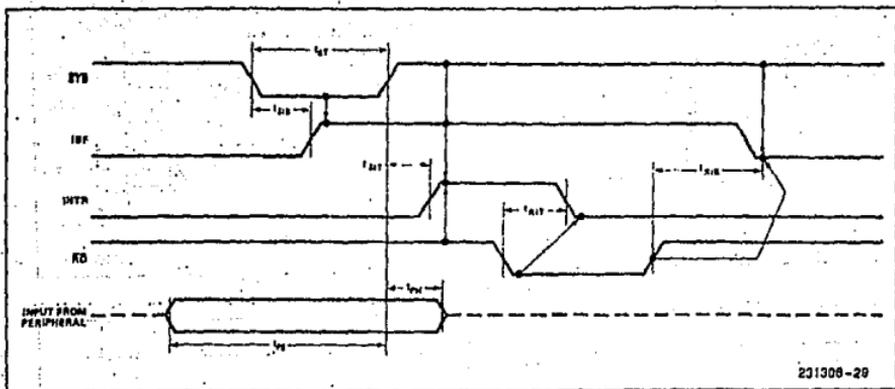


Figure 9. MODE 1 (Strobed Input)

Output Control Signal Definition

OB \bar{F} (Output Buffer Full F/F). The **OB \bar{F}** output will go "low" to indicate that the CPU has written data out to the specified port. The **OB \bar{F}** F/F will be set by the rising edge of the **WR** input and reset by **ACK** input being low.

ACK (Acknowledge Input). A "low" on this input informs the 8255A that the data from port A or port B has been accepted. In essence, a response from the peripheral device indicating that it has received the data output by the CPU.

INTR (Interrupt Request). A "high" on this output can be used to interrupt the CPU when an output

device has accepted data transmitted by the CPU. **INTR** is set when **ACK** is a "one", **OB \bar{F}** is a "one", and **INTE** is a "one". It is reset by the falling edge of **WR**.

INTE A

Controlled by bit set/reset of **PC $_6$** .

INTE B

Controlled by bit set/reset of **PC $_2$** .

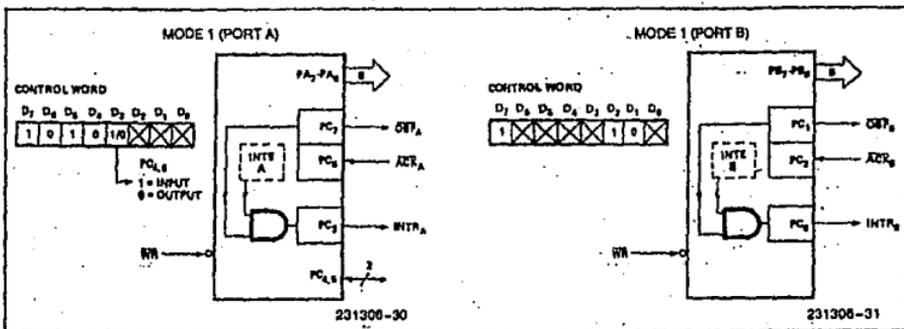


Figure 10. MODE 1 Output

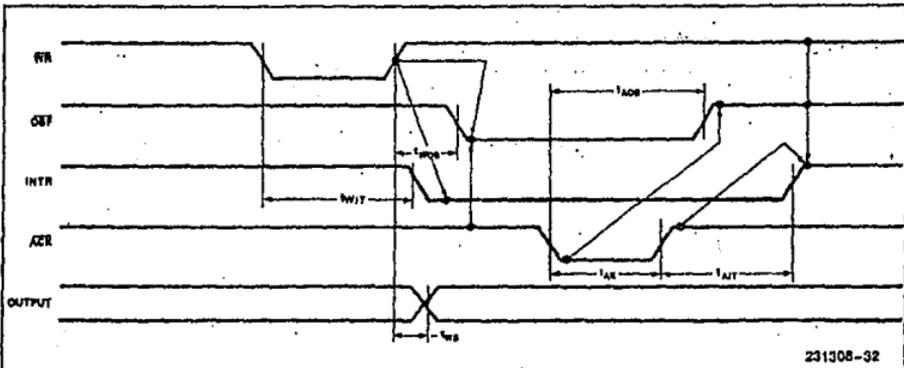


Figure 11. MODE 1 (Strobed Output)

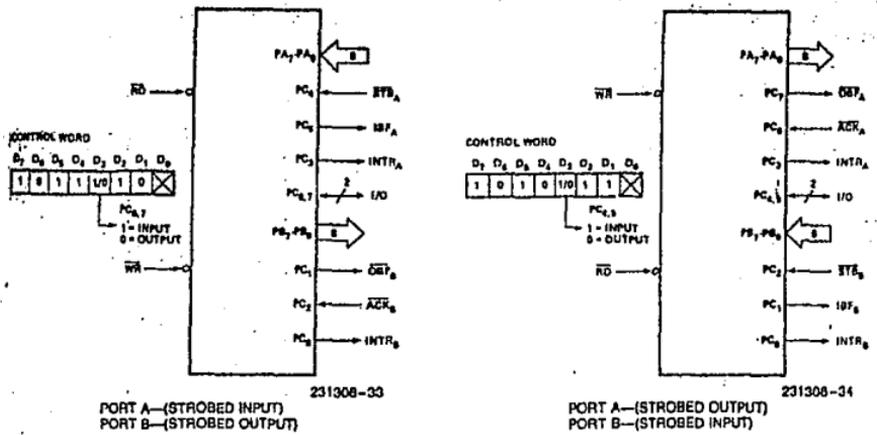


Figure 12. Combinations of MODE 1

Combinations of MODE 1

Port A and Port B can be individually defined as input or output in MODE 1 to support a wide variety of strobed I/O applications.

Operating Modes

MODE 2 (Strobed Bidirectional Bus I/O). This functional configuration provides a means for communicating with a peripheral device or structure on a single 8-bit bus for both transmitting and receiving data (bidirectional-bus I/O). "Handshaking" signals are provided to maintain proper bus flow discipline in a similar manner to MODE 1. Interrupt generation and enable/disable functions are also available.

MODE 2 Basic Functional Definitions:

- Used in Group A only.
- One 8-bit, bi-directional bus Port (Port A) and a 5-bit control Port (Port C).
- Both inputs and outputs are latched.
- The 5-bit control port (Port C) is used for control and status for the 8-bit, bi-directional bus port (Port A).

Bidirectional Bus I/O Control Signal Definition

INTR (Interrupt Request). A high on this output can be used to interrupt the CPU for both input or output operations.

Output Operations

ÖBF (Output Buffer Full). The ÖBF output will go "low" to indicate that the CPU has written data out to port A.

ACK (Acknowledge). A "low" on this input enables the tri-state output buffer of port A to send out the data. Otherwise, the output buffer will be in the high impedance state.

INTE 1 (The INTE Flip-Flop Associated with ÖBF). Controlled by bit set/reset of PC_C.

Input Operations

ÖTB (Strobe Input). A "low" on this input loads data into the input latch.

IBF (Input Buffer Full F/F). A "high" on this output indicates that data has been loaded into the Input latch.

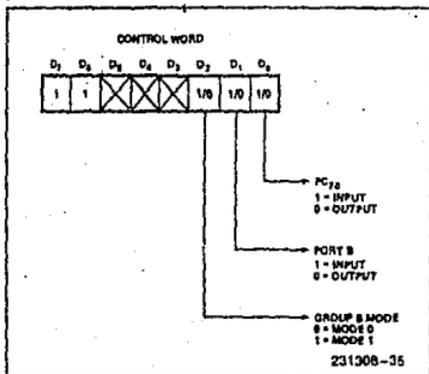


Figure 13. MODE Control Word

INTE 2 (The INTE Flip-Flop Associated with IBF). Controlled by bit set/reset of PC_4 .

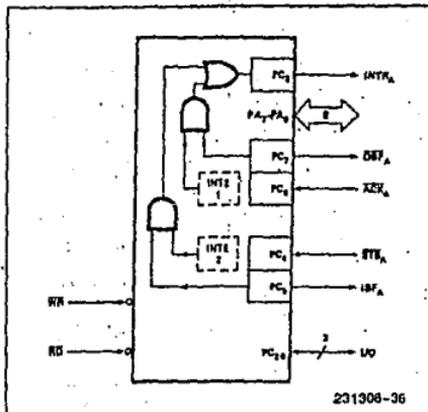
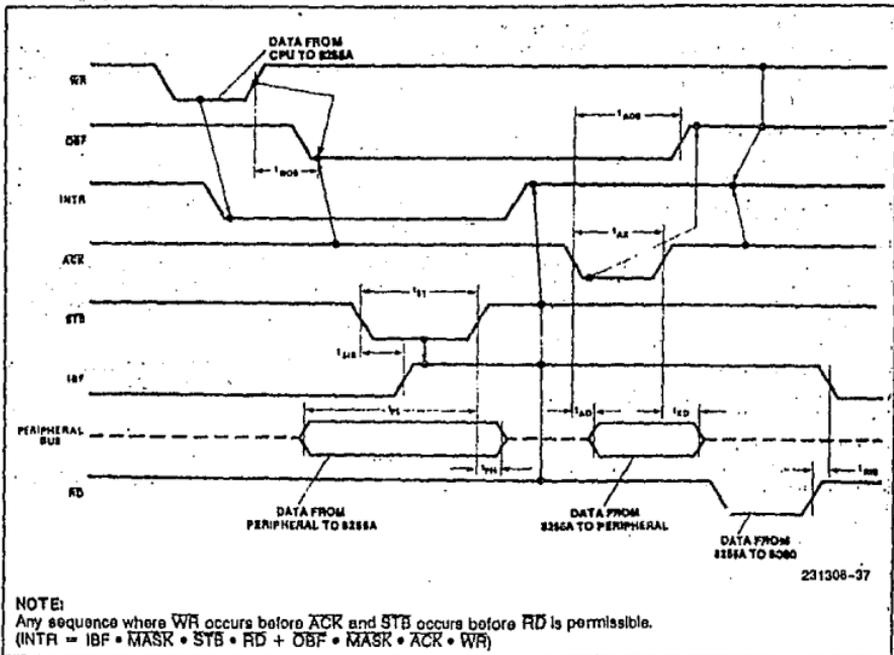


Figure 14. MODE 2


NOTE:

Any sequence where WR occurs before ACK and STB occurs before RD is permissible.

($INTR = IBF \cdot MASK \cdot STB \cdot RD + OBF \cdot MASK \cdot ACK \cdot WR$)

Figure 15. MODE 2 (Bidirectional)

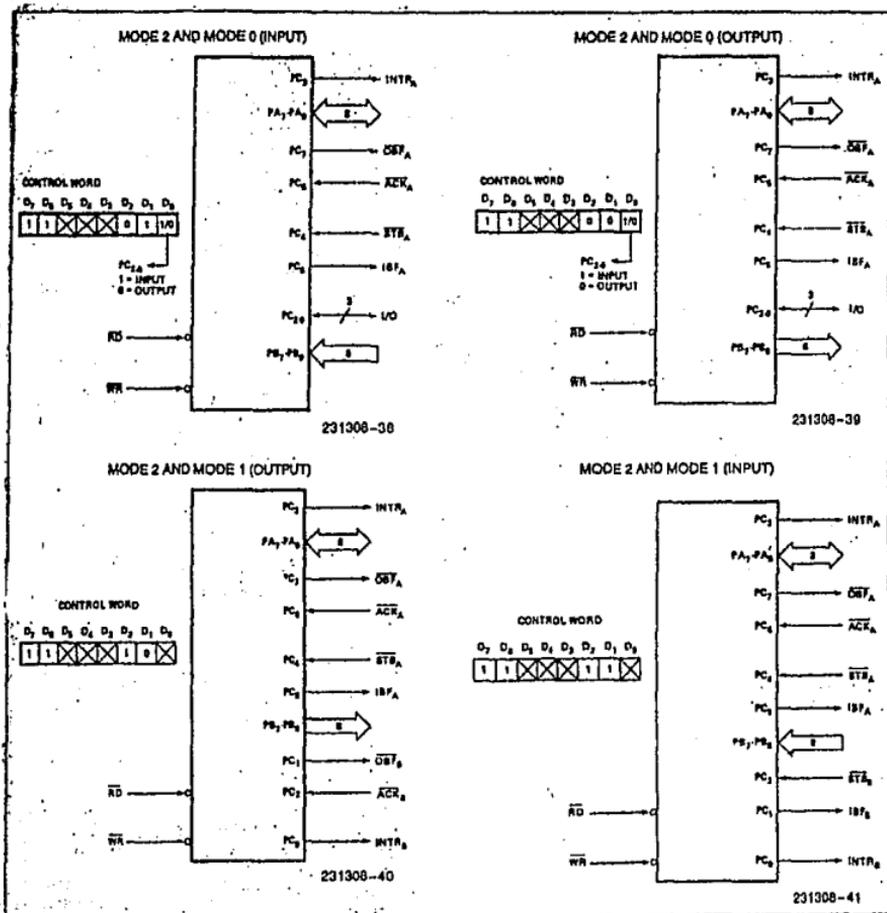


Figure 18. MODE 1/4 Combinations

Mode Definition Summary

	MODE 0		MODE 1		MODE 2	
	IN	OUT	IN	OUT	GROUP A ONLY	
PA ₀	IN	OUT	IN	OUT	↔	} MODE 0 OR MODE 1 ONLY
PA ₁	IN	OUT	IN	OUT	↔	
PA ₂	IN	OUT	IN	OUT	↔	
PA ₃	IN	OUT	IN	OUT	↔	
PA ₄	IN	OUT	IN	OUT	↔	
PA ₅	IN	OUT	IN	OUT	↔	
PA ₆	IN	OUT	IN	OUT	↔	
PA ₇	IN	OUT	IN	OUT	↔	
PB ₀	IN	OUT	IN	OUT	—	
PB ₁	IN	OUT	IN	OUT	—	
PB ₂	IN	OUT	IN	OUT	—	
PB ₃	IN	OUT	IN	OUT	—	
PB ₄	IN	OUT	IN	OUT	—	
PB ₅	IN	OUT	IN	OUT	—	
PB ₆	IN	OUT	IN	OUT	—	
PB ₇	IN	OUT	IN	OUT	—	
PC ₀	IN	OUT	INTR _B	INTR _B	I/O	
PC ₁	IN	OUT	IBF _B	ÖBF _B	I/O	
PC ₂	IN	OUT	STB _B	ACK _B	I/O	
PC ₃	IN	OUT	INTR _A	INTR _A	INTR _A	
PC ₄	IN	OUT	STB _A	I/O	STB _A	
PC ₅	IN	OUT	IBF _A	I/O	IBF _A	
PC ₆	IN	OUT	I/O	ACK _A	ACK _A	
PC ₇	IN	OUT	I/O	ÖBF _A	ÖBF _A	

Special Mode Combination Considerations

There are several combinations of modes when not all of the bits in Port C are used for control or status. The remaining bits can be used as follows:

If Programmed as Inputs—

All input lines can be accessed during a normal Port C read.

If Programmed as Outputs—

Bits in C upper (PC₇–PC₄) must be individually accessed using the bit set/reset function.

Bits in C lower (PC₃–PC₀) can be accessed using the bit set/reset function or accessed as a threesome by writing into Port C.

Source Current Capability on Port B and Port C

Any set of eight output buffers, selected randomly from Ports B and C can source 1 mA at 1.5 volts.

This feature allows the 8255 to directly drive Darlington type drivers and high-voltage displays that require such source current.

Reading Port C Status

In Mode 0, Port C transfers data to or from the peripheral device. When the 8255 is programmed to function in Modes 1 or 2, Port C generates or accepts "hand-shaking" signals with the peripheral device. Reading the contents of Port C allows the programmer to test or verify the "status" of each peripheral device and change the program flow accordingly.

There is no special instruction to read the status information from Port C. A normal read operation of Port C is executed to perform this function.

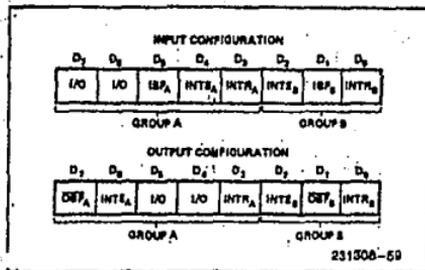


Figure 17. MODE 1 Status Word Format

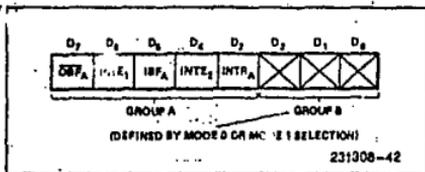


Figure 18. MODE 2 Status Word Format

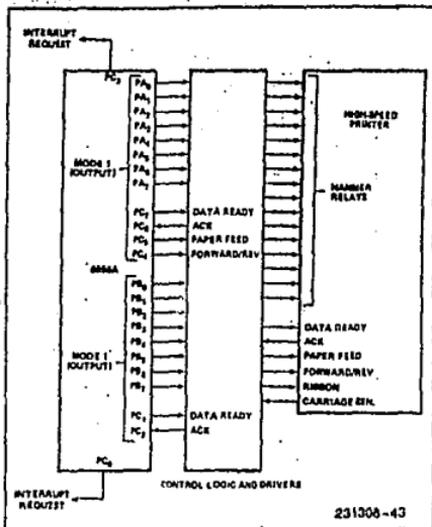


Figure 19. Printer Interface

APPLICATIONS OF THE 8255A

The 8255A is a very powerful tool for interfacing peripheral equipment to the microcomputer system. It represents the optimum use of available pins and is flexible enough to interface almost any I/O device without the need for additional external logic.

Each peripheral device in a microcomputer system usually has a "service routine" associated with it. The routine manages the software interface between the device and the CPU. The functional definition of the 8255A is programmed by the I/O service routine and becomes an extension of the system software. By examining the I/O devices interface characteristics for both data transfer and timing, and matching this information to the examples and tables in the detailed operational description, a control word can easily be developed to initialize the 8255A to exactly "fit" the application. Figures 19 through 25 represent a few examples of typical applications of the 8255A.

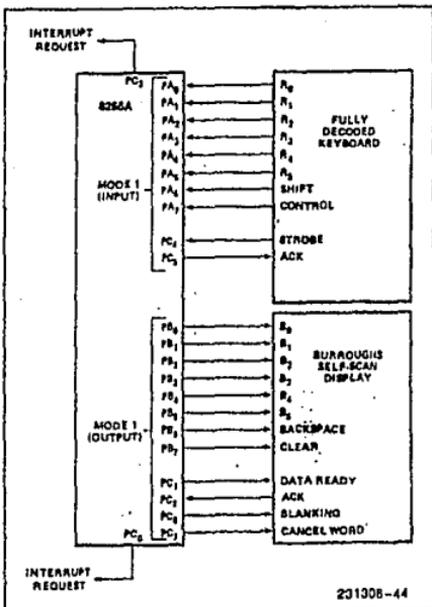


Figure 20. Keyboard and Display Interface

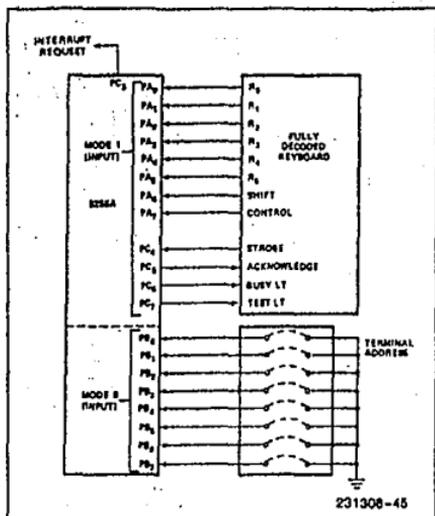


Figure 21. Keyboard and Terminal Address Interface

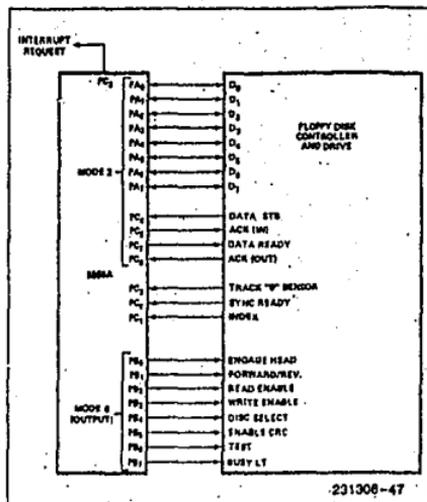


Figure 23. Basic Floppy Disk Interface

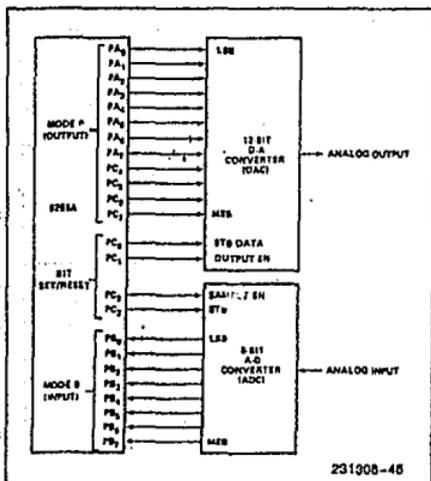


Figure 22. Digital to Analog, Analog to Digital

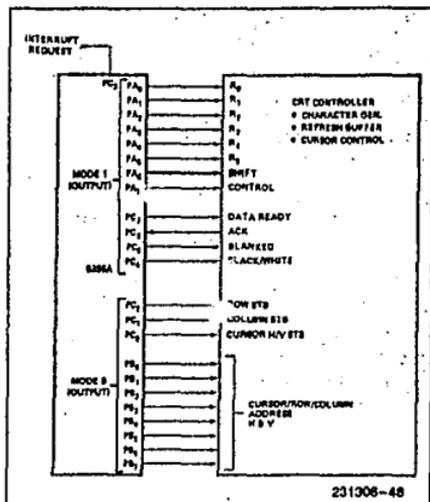


Figure 24. Basic CRT Controller Interface

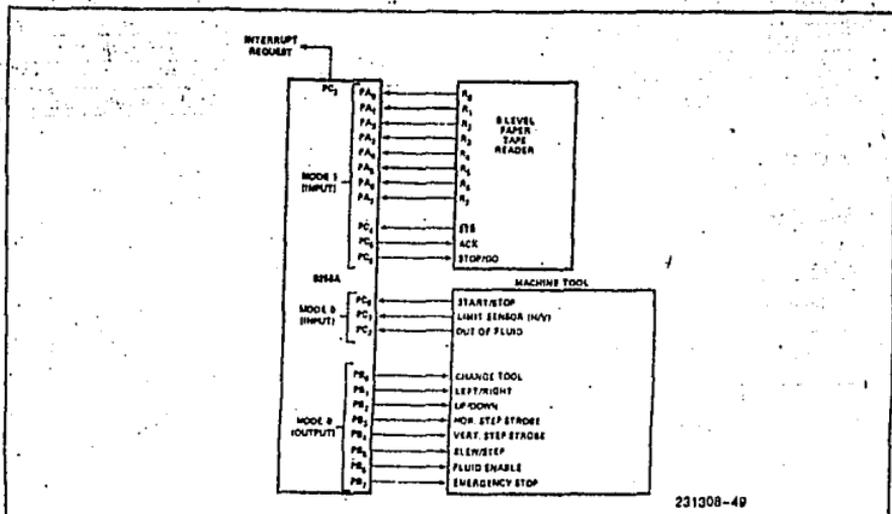


Figure 25. Machine Tool Controller Interface

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS*

Ambient Temperature Under Bias 0°C to 70°C
 Storage Temperature -65°C to +150°C
 Voltage on Any Pin
 with Respect to Ground -0.5V to +7V
 Power Dissipation 1 Watt

**Notice: Stresses above those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.*

D.C. CHARACTERISTICS $T_A = 0^\circ\text{C to } 70^\circ\text{C}$, $V_{CC} = +5V \pm 10\%$, $GND = 0V^*$

Symbol	Parameter	Min	Max	Unit	Test Conditions
V_{IL}	Input Low Voltage	-0.5	0.8	V	
V_{IH}	Input High Voltage	2.0	V_{CC}	V	
$V_{OL} (DB)$	Output Low Voltage (Data Bus)		0.45*	V	$I_{OL} = 2.5 \text{ mA}$
$V_{OL} (PER)$	Output Low Voltage (Peripheral Port)		0.45*	V	$I_{OL} = 1.7 \text{ mA}$
$V_{OH} (DB)$	Output High Voltage (Data Bus)	2.4		V	$I_{OH} = -400 \mu\text{A}$
$V_{OH} (PER)$	Output High Voltage (Peripheral Port)	2.4		V	$I_{OH} = -200 \mu\text{A}$
$I_{DAR}^{(1)}$	Darlington Drive Current	-1.0	-4.0	mA	$R_{EXT} = 750\Omega$; $V_{EXT} = 1.5V$
I_{CC}	Power Supply Current		120	mA	
I_{IL}	Input Load Current		± 10	μA	$V_{IN} = V_{CC}$ to 0V
I_{OFL}	Output Float Leakage		± 10	μA	$V_{OUT} = V_{CC}$ to 0.45V

NOTE:

(1) Available on any B pins from Port B and C.

CAPACITANCE $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = \text{GND} = 0\text{V}$

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Unit	Test Conditions
C_{IN}	Input Capacitance			10	pF	$f_c = 1\text{ MHz}^{(4)}$
$C_{I/O}$	I/O Capacitance			20	pF	Unmeasured pins returned to GND ⁽⁴⁾

A.C. CHARACTERISTICS $T_A = 0^\circ\text{C}$ to 70°C , $V_{CC} = +5\text{V} \pm 10\%$, $\text{GND} = 0\text{V}^*$
Bus Parameters
READ

Symbol	Parameter	8255A		8255A-5		Unit
		Min	Max	Min	Max	
t_{AR}	Address Stable before READ	0		0		ns
t_{RA}	Address Stable after READ	0		0		ns
t_{RR}	READ Pulse Width	300		300		ns
t_{RD}	Data Valid from READ ⁽¹⁾		250		200	ns
t_{DF}	Data Float after READ	10	150	10	100	ns
t_{RV}	Time between READs and/or WRITEs	850		850		ns

WRITE

Symbol	Parameter	8255A		8255A-5		Unit
		Min	Max	Min	Max	
t_{AW}	Address Stable before WRITE	0		0		ns
t_{WA}	Address Stable after WRITE	20		20		ns
t_{WW}	WRITE Pulse Width	400		300		ns
t_{DW}	Data Valid to WRITE (T.E.)	100		100		ns
t_{WD}	Data Valid after WRITE	30		30		ns

OTHER TIMINGS

Symbol	Parameter	8255A		8255A-5		Unit
		Min	Max	Min	Max	
t_{WB}	WR = 1 to Output ⁽¹⁾		350		350	ns
t_{PR}	Peripheral Data before RD	0		0		ns
t_{PR}	Peripheral Data after RD	0		0		ns
t_{AK}	ACK Pulse Width	300		300		ns
t_{ST}	STB Pulse Width	500		500		ns
t_{PS}	Per. Data before T.E. of STB	0		0		ns
t_{PH}	Per. Data after T.E. of STB	180		180		ns
t_{AD}	ACK = 0 to Output ⁽¹⁾		300		300	ns
t_{KD}	ACK = 1 to Output Float	20	250	20	250	ns

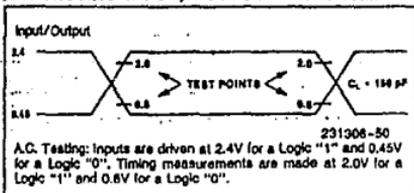
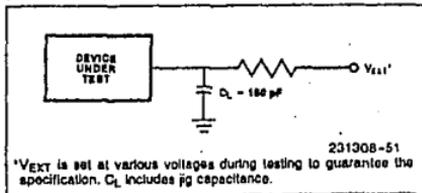
A.C. CHARACTERISTICS (Continued)
OTHER TIMINGS (Continued)

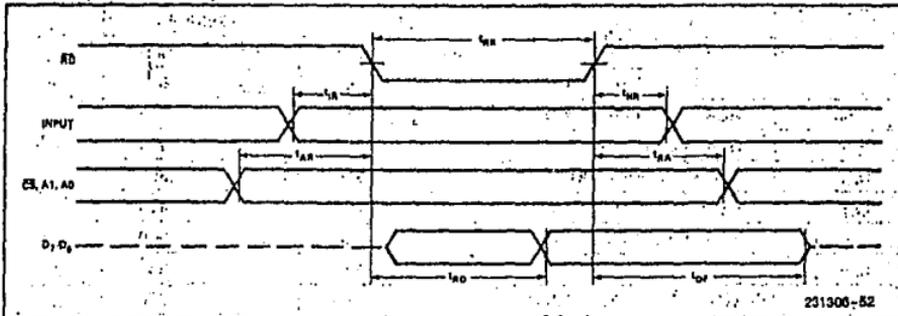
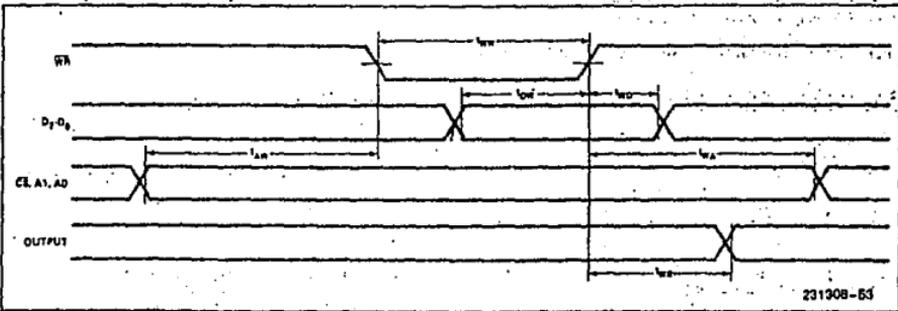
Symbol	Parameter	8255A		8255A-5		Unit
		Min	Max	Min	Max	
t_{WOB}	WR = 1 to OBF = 0(1)		650		650	ns
t_{AOB}	ACK = 0 to OBF = 1(1)		350		350	ns
t_{SIB}	STB = 0 to IBF = 1(1)		300		300	ns
t_{RIB}	RD = 1 to IBF = 0(1)		300		300	ns
t_{RIT}	RD = 0 to INTR = 0(1)		400		400	ns
t_{SIT}	STB = 1 to INTR = 1(1)		300		300	ns
t_{AIT}	ACK = 1 to INTR = 1(1)		350		350	ns
t_{WIT}	WR = 0 to INTR = 0(1,3)		850		850	ns

NOTES:

1. Test Conditions: $C_L = 150$ pF.
2. Period of Reset pulse must be at least 50 μ s during or after power on. Subsequent Reset pulse can be 500 ns min.
3. INTR \uparrow may occur as early as WR \downarrow .
4. Sampled, not 100% tested.

*For Extended Temperature EXPRESS, use M8255A electrical parameters.

A.C. TESTING INPUT, OUTPUT WAVEFORM

A.C. TESTING LOAD CIRCUIT


WAVEFORMS
MODE 0 (BASIC INPUT)

MODE 0 (BASIC OUTPUT)


BIBLIOGRAFIA

Bibliografía

Jersey. Norton, Harry N.

Handbook of Transducers. Englewood Cliffs, New
Prentice-Hall, 1989.

H. Sheingold.

Analog Devices, Inc. *Analog-Digital Conversion Handbook.* Daniel
ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1986.

Coughlin, Robert F., Driscoll Frederick F.

Circuitos Integrados lineales y amplificadores operacionales.
2^aed. México-Englewood Cliffs. Prentice-Hall Hispanoamericana,
S.A., 1987.

Mano, M. Morris.

Lógica Digital y Diseño de Computadores.
México-Englewood Cliffs. Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A.,
1979.

Martínez, B. Juan.

Apuntes de Microprocesadores y Sistemas Digitales.
UNAM, Facultad de Ingeniería, 1989.

Groover, Mikell P., Nagel Roger N., Weiss M. y Odrey N.G.

Robótica Industrial. España. McGraw-Hill/Interamericana de
España, S.A., 1989.

Daniel h. y Sheingold.

Analog Devices, Inc. *Transducer Interfacing Handbook.*
ed. Norwood Massachusetts, 1980.

B.C. Yeung PHD
Programming the Z80 Under CP/W.

David F. Hoeshele Jr.
Analog to Digital/Digital to Analog Conversion Techniques
Ed. J WILEY

Jesus L. Heiras A.
Criogenia. Departamento de Estado solido y criogenia.
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN MATERIALES (UNAM).

OMEGA ENGINEERING INC STANFORD
TEMPERATURE MEASUREMENT HANDBOOK.