

**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL  
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA**

PROTOTIPO PARA REGISTRO DE  
CONTAMINACION DEL AIRE POR ESCAPES

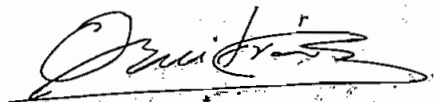
MANUEL MESIAS CHISAGUANO ALMAGRO

TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE  
INGENIERO EN ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES

NOVIEMBRE DE 1999

## CERTIFICACION

Certifico que el presente trabajo ha sido desarrollado en su totalidad por el Sr. Manuel Mesias Chisaguano Almagro.



Ing. Oswaldo Buitrón  
DIRECTOR DE TESIS

## DEDICATORIA

A mi Esposa Mercedes a mis  
niños: Cynthia, Jeniffer y Andrés  
los amores de mi vida.

## **AGRADECIMIENTO**

A **Dios** por la vida y fuerza, a mis padres Juana y Vicente por su valor, a mi profesor Ing.Oswaldo Buitron por sus sabias enseñanzas y su incondicional apoyo. Y a mis amigos Ximena y Rodrigo.

# INDICE

## PAGINAS

### CAPITULO I: ESTUDIO TEORICO

1.1.Introducción.....	3
1.2.Características generales de los sensores.....	4
1.2.1. Sensor de monóxido de carbono.....	4
1.2.1.1 Consideraciones generales para elegir los sensores de monóxido de carbono.....	5
1.2.1.1.1 Sensor catalítico.....	5
1.2.1.1.2 Sensores por semiconductor.....	6
1.2.1.1.3 Sensores infrarrojos (IR).....	6
1.2.1.1.4 Sensores infrarrojos (IR) de camino abierto .....	7
1.2.1.1.5 Sensor electroquímico.....	8
1.2.1.2 El sensor de monóxido de carbono seleccionado.....	8
1.2.1.3 Especificaciones técnicas del sensor de monóxido de carbono seleccionado.....	10
1.2.2. Sensor de humedad.....	10
1.2.2.1 Consideraciones generales para elegir los sensores de humedad.....	11
1.2.2.1.1 Sensores de humedad higrométricos.....	11
1.2.2.1.2 Sensores de humedad higrométricos resistivos.....	12
1.2.2.1.3 Sensores de humedad higrométricos de óxido de aluminio.....	12
1.2.2.1.4 Sensores de humedad higrométricos de cristal oscilante....	12
1.2.2.1.5 Sensores de humedad higrométricos electrolíticos.....	13
1.2.2.2 Sensores de humedad Psicrómetros.....	13
1.2.2.2.1 Sensores de humedad del punto de rocío.....	13
1.2.2.2.2 El sensor de humedad MultiMeterMate´s.....	14
1.2.2.3 Especificaciones técnicas del sensor de humedad seleccionado..	15
1.2.3. Sensor de temperatura.....	15

1.2.3.1 Consideraciones generales para elegir los sensores de temperatura.....	16
1.2.3.2 Sensores de temperatura de cristales de cuarzo.....	17
1.2.3.3 Sensores de temperatura de ruido térmico (termómetros de ruido).....	17
1.2.3.4 Sensores de temperatura Acústicos.....	17
1.2.3.5 Sensores de temperatura capacitivos.....	17
1.2.3.6 Sensores de temperatura resistivos mediante conductores.....	18
1.2.3.7 Sensores de temperatura resitivos utilizando semiconductores.....	18
1.2.3.8 Sensores de temperatura termoelectricos.....	18
1.2.3.9 El sensor de temperatura LM335.....	19
1.2.3.9.1 Características técnicas del LM335.....	19
1.3. Características básicas de un sistema de monitoreo.....	20
1.3.1 Características técnicas del equipo.....	20

## **CAPITULO II: DISEÑO Y CONTRUCCION DEL PROTOTIPO**

2.1. Diseño de cada una de las etapas.....	24
2.1.1 Diseño de la etapa de amplificación del sensor de humedad.....	24
2.1.2 Diseño de la etapa de amplificación del sensor de temperatura .....	26
2.1.2.1 Circuito de amplificación.....	28
2.2. Diseño utilizando el microcontrolador.....	30
2.2.1 El conversor analógico-digital.....	31
2.2.2 El reloj externo.....	32
2.2.3 El microcontrolador DS2250T.....	33
2.2.3.1 Breve descripción de los pines según el manual.....	34
2.2.4 El display.....	38
2.2.5 El teclado.....	41
2.2.6 El puerto de comunicación serial.....	43
2.3. Construcción del prototipo.....	44
2.3.1 Distribución de las tarjetas construidas.....	46
2.3.2 Ensamblaje final.....	51

## **CAPITULO III: PROGRAMAS DEL MICROCONTROLADOR Y DEL PC.**

3.1 Programación del microcontrolador.....	54
3.2 Diagramas de flujo del programa principal y subrutinas.....	54

3.2.1 Subrutina ver_teclas.....	57
3.2.2 Subrutina lee_conversor.....	59
3.2.3 Subrutina lee_guardar.....	61
3.2.4 Subrutina inicio_display.....	63
3.2.5 Subrutina com_serial.....	63
3.2.6 Subrutina datos_cpu.....	64
3.2.6.1 Subrutina igualar "I".....	65
3.2.6.2 Subrutina vaciar_mem "Z".....	65
3.2.6.3 Subrutina Leer "L".....	66
3.2.7 Subrutina del_tiempo.....	68
3.2.8 Programación del Reloj en tiempo real.....	69
3.2.8.1 Subrutina reloj.....	70
3.2.8.2 Subrutina leer_reloj.....	71
3.2.8.3 Subrutina secuencia_reloj.....	72
3.2.8.4 Subrutina cerrar_reloj.....	73
3.2.8.5 Subrutina mu_ascii_display.....	73
3.2.8.6 Subrutina lee_reg.....	74
3.2.8.7 Subrutina gra_reg.....	75
3.3 Comunicación entre el prototipo de registro y el PC.....	75
3.3.1 Conexión en el p <sup>o</sup> rtico serial.....	76
3.3.2 Conexión entre el prototipo y el pc.....	76
3.4 Diagrama de flujo del programa de procesamiento en el computador.....	77
3.4.1 El registro de contaminación del aire.....	79
3.4.2 Diagrama de flujo de datos.....	81

## **CAPITULO IV: RESULTADOS Y CONCLUSIONES**

4.1 Pruebas de funcionamiento y resultados.....	87
4.1.1 Pruebas del equipo en el laboratorio.....	88
4.1.1.1 Pruebas preliminares de campo.....	89
4.1.1.1.1 Registro de la temperatura ambiente.....	89
4.1.1.1.2 Registro de la humedad relativa.....	90
4.1.1.1.3 Registro de monóxido de carbono.....	91
4.1.1.2 Pruebas en ambiente cerrado.....	92
4.1.1.3 Pruebas de campo del equipo de registro.....	95
4.2 .Análisis de datos para servicio al usuario.....	118
4.2.1 Selección del intervalo de mediciones.....	118
4.2.2 El periodo de medición.....	119
4.3 Conclusiones.....	119
4.4 Recomendaciones.....	121

**BIBLIOGRAFIA..... 123**

**ANEXOS**

A Información técnica.....A1  
B Información Normativa.....B1



# **CAPITULO I**

## **ESTUDIO TEORICO**

## **CONTENIDO CAPITULO I**

### **1.1. INTRODUCCION**

### **1.2. CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS SENSORES**

#### **1.2.1 . SENSOR DE MONOXIDO DE CARBONO**

#### **1.2.2 . SENSOR DE HUMEDAD**

#### **1.2.3 . SENSOR DE TEMPERATURA**

### **1.3 CARACTERISTICAS BASICAS DEL SISTEMA DE MONITOREO**

## 1.1 INTRODUCCION.

Con el desarrollo de la sociedad en la actualidad, el hombre ha provocado una alta contaminación del medio ambiente; y lo que es peor aún, sigue cada vez contaminando y se ha llegado en muchos casos a niveles peligrosos para la vida; situación que debe ser controlada y corregida, para que se pueda alcanzar niveles que no afecten a la vida y al ecosistema.

Por lo expuesto, es necesario realizar mediciones del grado de contaminación existentes en los distintos órdenes a fin de poder aplicar correctivos en forma oportuna; es la razón del presente trabajo que pretende, abordar la contaminación del aire causada por los escapes de los automotores. Siendo uno de los primeros intentos de solución en este campo; se pretende sentar las bases para un mayor y mejor desarrollo de esta área en el futuro.

Dada la complejidad del desarrollo de sensores y transductores, para su aplicación en la medición de contaminación ambiental; tal es así que en muchos casos no se cuenta aún con este tipo de dispositivos y en vista a su alto costo, se ha decidido utilizar un sensor de uno de los fabricantes reconocidos y realizar la medición de una sola de las variables de contaminación del aire; esto es, la contaminación por monóxido de carbono.

El prototipo diseñado operará en base a un programa almacenado y el control de un microcontrolador de los más ampliamente difundidos en el mercado, como son los de la familia Dallas DS5000FP.

La finalidad de este prototipo es, no solo realizar mediciones condicionadas en tiempo a la respuesta del sensor, sino que también tenga la ventaja de almacenar esas mediciones y luego ser descargadas en un computador para procesarlos con la ayuda de un programa de fácil manejo y obtener las curvas de contaminación que ayuden a una fácil y rápida interpretación de los resultados.

La información a ser obtenida, como se ha descrito, será de mucha utilidad para los organismos encargados de realizar un seguimiento y control de la contaminación; entre ellos el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, a fin de que al contar con datos confiables, pueda aplicar sus ordenanzas y obtener resultados favorables a toda la comunidad.

Por otra parte, es necesario tomar en cuenta que la contaminación que, emiten los gases combustibles, monóxido de carbono, y gases tóxicos no necesariamente inflamables, tienen gran efecto en la seguridad y la salud de las personas expuestas a concentraciones de gas con riesgo de inhalación, ingestión o absorción por la piel. Los efectos perjudiciales resultan

frecuentemente por el tiempo de exposición. Por ello la medida de concentración de gas y el tiempo de exposición, deben ser manejados adecuadamente.

Como se señaló, el prototipo será diseñado para medir la contaminación del aire por uno de los gases; sin embargo, con pequeñas modificaciones en la circuitería y los cambios que sean requeridos en el programa de procesamiento del computador, se puede incluir la medición de otros gases contaminantes del aire y obtener datos que permitan tomar mejores decisiones.

El equipo de monitoreo se lo ha diseñado para que sirva como un medio de registro de gases contaminantes, puede ser aplicado para propósitos generales de registro de contaminación; como se señaló, si se cuenta con los sensores adecuados y realizando las adaptaciones requeridas por estos sensores, al equipo.

Es importante señalar que la información obtenida debe ser manejada por personas expertas o conocedoras del tema, para que la misma pueda ser interpretada inteligentemente y se apliquen los correctivos necesarios.

## **1.2. CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS SENSORES.**

El aire en el medio ambiente es una mezcla de gases, compuesta aproximadamente por 80 % de nitrógeno, 18 % de oxígeno y pequeñas cantidades de dióxido de carbono, vapor de agua y otros gases.

Para el diseño del prototipo de registro de la contaminación se deben tomar en cuenta algunos conceptos de gran importancia y la razón del porque se aplica cada uno de los sensores como elementos de detección de la contaminación del aire.

### **1.2.1 SENSOR DE MONOXIDO DE CARBONO**

Un sensor de gases y vapores inflamables (ya sea portátil o fijo) es un dispositivo que sirve para detectar la presencia de un gas o vapor inflamable en el aire, antes de que alcance niveles peligrosos. Permite detectar y medir las concentraciones, actuar las alarmas y accionar los dispositivos de seguridad que alcancen las concentraciones preestablecidas, aunque se utiliza normalmente en las actividades más variadas, el sensor de monóxido de carbono, es muchas veces, un dispositivo desconocido desde el punto de vista de su funcionamiento como la de las posibilidades de utilización.

Es necesario recordar que hay ciertos principios esenciales en materia de riesgos de contaminación ambiental, así como las medidas elementales de seguridad para prevenir estos riesgos, aspectos que se les puede encontrar en las normas **SAE J254 (INSTRUMENTATION AND TECHNIQUES FOR EXHAUST GAS EMISSIONS)**, mismas que serán analizadas posteriormente.

### **1.2.1.1 Consideraciones generales para elegir los sensores de monóxido de carbono.**

Los gases tóxicos no necesariamente inflamables, son de gran efecto en la seguridad y la salud de las personas expuestas a concentraciones de gas con riesgo de inhalación, ingestión o absorción por la piel. Los efectos perjudiciales resultan frecuentemente por el tiempo de exposición: por ello la importancia de la medida de concentración de gas y el tiempo de exposición.

Generalmente se mide concentraciones muy bajas; aunque muchos gases tóxicos son combustibles, no es posible usar detectores de gases inflamables para la medida de esos gases, ya que la sensibilidad necesaria está muy por debajo del mínimo nivel detectable por un sensor de gas inflamable.

Las características en común de estos instrumentos son las funciones de precisión tales como la estabilidad del cero, la desviación y deriva de la sensibilidad, repetibilidad, umbral y resolución (algunas veces denominada equivocadamente sensibilidad), el tiempo de respuesta, la cantidad de luz perdida si existe, debe especificarse, así como la corriente en la sombra del sensor luminoso (en términos de la señal de salida del instrumento). También deberán quedar especificadas las características ambientales permisibles para instrumentos colocados en exteriores o interiores con atmósferas contaminantes.

En razón de que se puede disponer de varios sensores de monóxido de carbono, ya que se tienen algunos tipos, se pueden citar como los más importantes los que se exponen en los siguientes subcapítulos.

#### **1.2.1.1.1 Sensor catalítico.**

Se constituyen por filamento de platino, el cual se calienta eléctricamente. Este está primeramente recubierto con una base cerámica (aluminosa por ejemplo) y finalmente por una dispersión catalítica de Paladio o Rodio, todo ello soportado en un substrato de Torio.

Principio de operación: cuando una mezcla de aire y gas inflamable se pone en contacto con la superficie caliente del catalizador, se produce una combustión, el calor generado, aumenta la temperatura de la 'perla' lo cual produce una alteración de la resistencia del filamento de platino que a su vez puede ser medido en un circuito estándar tipo puente. El cambio de resistencia está directamente relacionado con la concentración de gas presente en la atmósfera circundante, y por tanto la determinación de la concentración del gas corresponde a la medida de la resistencia. El tiempo de respuesta se especifica frecuentemente para alcanzar el 90 por ciento de su lectura final, conociéndose este valor como **T90**, el valor de **T90** típico para los sensores catalíticos se sitúa entre 20 y 30 segundos.

**CALIBRACION.** Los sensores catalíticos están expuestos a envenenamientos, o bloques del sinterado<sup>1</sup> por corrosión o salpicaduras de sal o agua. La degradación consecuente, implica una esencial calibración periódica, sobre la base de gases patrón, conocidos. El cero y niveles de ganancia se ajustan sobre la base de los elementos patrón.

#### **1.2.1.1.2 Sensores por semiconductor.**

Operan por el principio de absorción en la superficie de un óxido calentado. De hecho, es una película delgada de un óxido metálico (usualmente óxidos de metales de transición o metales pesados como el estaño) depositado en una base de silicio. La absorción de la muestra de gas en la superficie de óxido seguida de una oxidación catalítica, termina en un cambio de la resistencia eléctrica del material oxidado que puede ser relacionado con la concentración de la muestra de gas, la superficie de los sensores se calienta a una temperatura constante de alrededor de los 200-300 °C, para acelerar los efectos de la reacción y medir efectos de cambio de temperatura ambiental. Se usa en la detección de gas tóxico y en sistemas de detección de gas combustible para uso doméstico. En uso industrial, es ineficiente por su falta de linealidad debido a factores atmosféricos y altos tiempos de recuperación ante grandes concentraciones de gas.

#### **1.2.1.1.3 Sensores infrarrojos (IR).**

Detectan las bandas de absorción, en la región infrarroja (IR) del espectro, donde se encuentran muchos gases combustibles. Su ventaja frente a los catalíticos es su mayor rapidez de respuesta (de 2 a 3 segundos), bajo mantenimiento y simplicidad de pruebas por ser basados en microprocesador.

---

<sup>1</sup> Soldar o conglomerar metales pulverulentos sin alcanzar la temperatura de fusión.

La luz al pasar a través de una mezcla de gases a dos longitudes de onda, una de ellas esta ajustada al pico de la absorción de la muestra, mientras que la otra no. Las dos fuentes de luz se emiten alternativamente y son conducidas por un camino óptico común para salir a una "ventana antideflagrante" y a través del gas. Los rayos son reflejados posteriormente hacia atrás por un retro-reflector, volviendo a través de la muestra y llegando de nuevo dentro de la unidad. Allí, un detector compara la fuerza de la señal de los gases de referencia y patrón para dar una medida de la concentración de gas.

#### **1.2.1.1.4 Sensores infrarrojos (IR) de camino abierto.**

El método convencional de detección de fugas ha sido el de la detección puntual, mediante sensores individuales que cubren un área específica. Actualmente, aparecen los instrumentos con tecnología IR y láser en forma de un haz abierto (o camino abierto) que puede cubrir distancias de varios cientos de metros.

Aunque no sustituye los detectores puntuales, las aplicaciones típicas incluyen túneles, motorización perimetral, plataformas marinas, áreas de almacenamiento de LNG (gas natural licuado), etc; su mayor aplicación se encuentra en gases inflamables. Para gases tóxicos donde los niveles de detección están en partes por mil millones (ppb), las aplicaciones típicas están en la detección de niveles de toxicidad de amoníaco y óxido nítrico.

Para la detección de campo abierto, se utilizan dos longitudes de onda, donde la luz pasa a través de una mezcla de gases, una de ellas ajustada al pico de absorción de la muestra mientras que la otra no. Los dos rayos son reflejados a través de un retro-reflector, mediante el uso de un transmisor y receptor separados.

Cualquier cambio en la relación de la intensidad de la señal entre los dos haces se atribuye a la presencia del gas de interferencia, e indica la cantidad total de moléculas (cantidad de gas) dentro del haz. Este valor es diferente a la concentración de gas en cualquier punto del haz y se expresa generalmente en LEL<sup>2</sup> para los gases inflamables. Debido a que las dos intensidades de las dos longitudes de onda son atenuadas igualmente por la presencia de elementos extraños (polvo, lluvia, niebla, etc.), la precisión total de la medida no se afecta de un modo importante, sólo se oscurece el rayo; sin embargo se utiliza compensación electrónica para cualquier cambio atmosférico.

---

<sup>2</sup> La concentración mínima de un gas combustible particular en el aire, que puede ser encendido, es definida como el límite explosivo inferior L.E.L.

### **1.2.1.1.5 Sensor electroquímico.**

Se utiliza en la detección de la mayoría de los casos comunes, incluyen CO, H<sub>2</sub>O, CL, SO<sub>2</sub>, etc. Es una célula electroquímica, formada por dos electrodos sumergidos en un medio electrolito común; este puede ser en forma de líquido, gel o en sólido poroso impregnado. El electrolito es aislado de las influencias externas mediante una barrera, que puede ser una membrana permeable al gas, un medio de difusión o un capilar; la célula se diseña para una sensibilidad máxima combinada con una interferencia mínima de otros gases que puedan estar presentes. Durante el funcionamiento del sensor, un voltaje es aplicado en los electrodos y cuando el gas penetra a través de la barrera en el sensor, una reacción de oxidación reducción (redox) genera una corriente eléctrica que es linealmente proporcional a la concentración del gas.

Los niveles de detección pueden ser hasta de 1 o 2 ppm de gas, mientras que el tiempo de respuesta típico T<sub>90</sub> suele ser alrededor de 30 – 60 segundos; se pueden alcanzar niveles mínimos de detección, alrededor de 0.02 ppm, dependiendo del tipo de gas y de las células utilizadas.

La mayoría de células electroquímicas se ven afectadas por los cambios de la humedad y del caudal de aire, resultando inestables si no se suministra con algún sistema de estabilización.

### **1.2.1.2 El Sensor de monóxido de carbono seleccionado.**

De lo expuesto en los párrafos anteriores sobre los sensores de monóxido de carbono, se puede establecer que el sensor debe presentar la mayor cantidad de facilidades en cuanto a información de la adquisición de datos, precio y lo más importante las necesidades del proyecto; luego de un análisis de varios sensores se concluyó que el sensor de monóxido de carbono del fabricante NIGHTTHAWK SYSTEMS INC. (p/n 810-0536 rev 5), es el más adecuado, debido a que es un sensor de reacción rápida a los cambios de monóxido de carbono existente en el aire, que se espera sean las condiciones de trabajo en la aplicación del proyecto y en vista de que entrega una respuesta ya procesada de 0 Vdc a 5 Vdc; como se ilustra en la figura 1.1, donde se puede observar la cantidad de monóxido de carbono versus su salida en voltaje como respuesta.

Por considerar de importancia, a continuación se exponen las principales recomendaciones dadas por el fabricante, para su utilización:

1. - No debe instalarse en zonas donde existan excesos de polvo o humo, debido ha que se disminuye la vida útil del sensor y en ocasiones puede afectar su normal funcionamiento.



2. - Para el mantenimiento del sensor de monóxido de carbono solamente se debe utilizar aire comprimido (sólo aire sin ningún tipo de químicos).
3. - Alimentación de 9 Vac al circuito que contiene el sensor.
4. - Trabaja con 9 Vdc de una batería de respaldo opcionalmente.
5. - La señal de salida del circuito de acoplamiento es de 0 Vdc a 5 Vdc.
6. - El circuito dispone de un pulsador para reset, para reiniciar una medición.
7. - Cuando se conecta la batería de respaldo el display oscila entre " Lb " (low battery) y la lectura de CO.

En la Figura 1.1 se presenta la curva de funcionamiento del sensor, especificada por el fabricante.

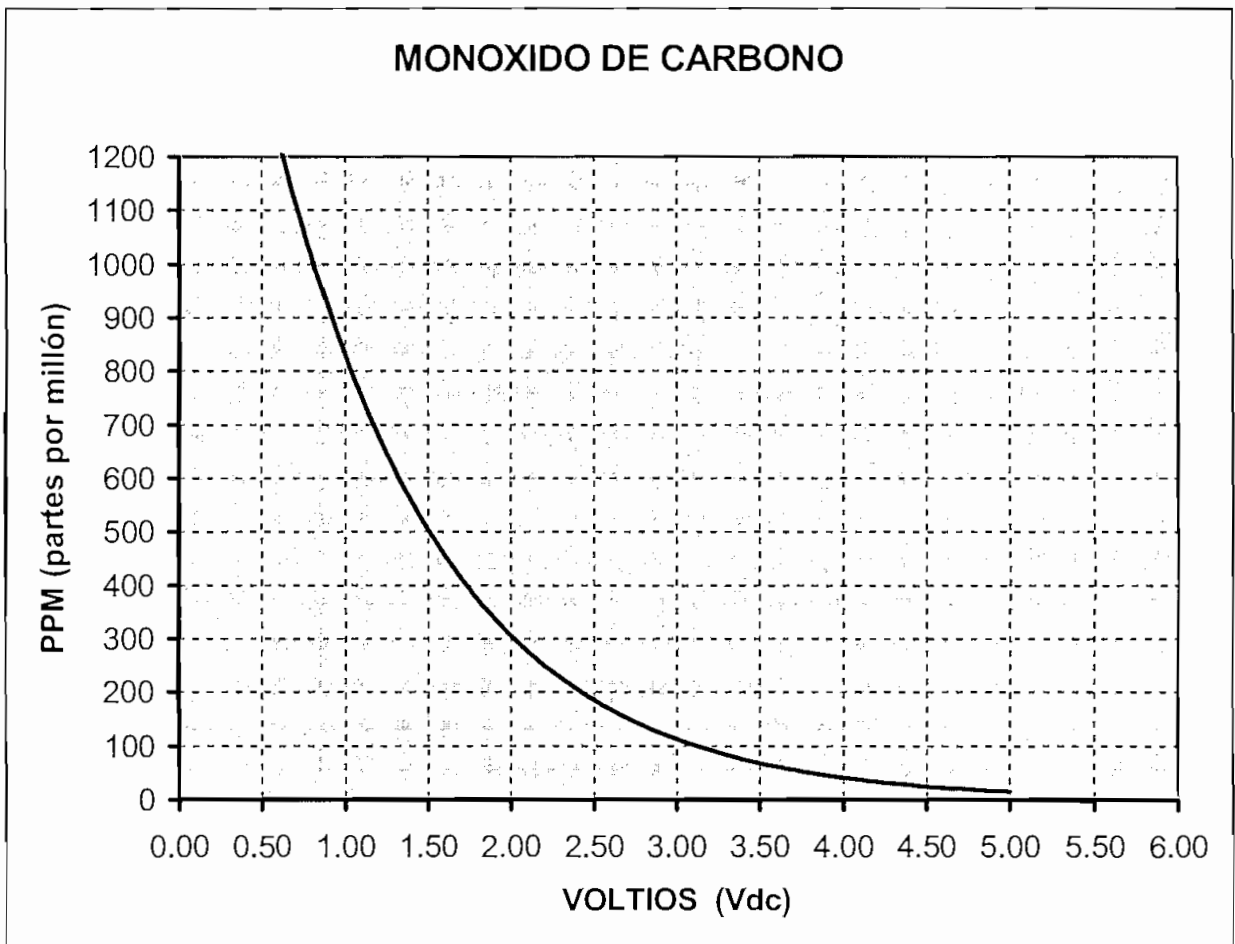


FIGURA 1.1 CURVA DE RESPUESTA DEL SENSOR DE MONOXIDO DE CARBONO

### 1.2.1.3 Especificaciones técnicas del sensor de monóxido de carbono seleccionado.

- Rango de operación 0.....1000 ppm
- Rango de mediciones (precisión especificada) 22,69....964,68 ppm
- Tiempo de respuesta inmediata  
en el aire inmóvil
- Temperatura de operación - 10 °C..... +60 °C
- Alimentación de energía 9 Vdc / 9 Vac

### 1.2.2 SENSOR DE HUMEDAD.

Para efectuar la medición de la humedad, es necesario tener muy claro el concepto de humedad relativa, misma que se define de la siguiente manera:

**Humedad relativa:** es la cantidad de vapor de agua existente en el aire en relación a la máxima cantidad de vapor de agua contenida en esa temperatura.

El aire puede contener diferentes cantidades de vapor de agua a diferentes temperaturas; sin embargo, se debe tener presente que, pequeños cambios en la temperatura son la causa principal de los grandes cambios de la humedad relativa en el ambiente.

De acuerdo con lo expuesto, la humedad relativa depende de dos factores principales:

1. - De la cantidad de vapor de agua en el aire (presión del vapor de agua).
2. - De la temperatura ambiente.

La humedad relativa es igual al 100 % si el vapor está saturado, y cero si no hay ningún vapor de agua presente.

Puesto que el vapor de agua de la atmósfera está saturado cuando su presión parcial es igual a la presión de vapor a la temperatura del aire; puede alcanzar la saturación al aumentar el contenido de vapor de agua, o bien al descender la temperatura.

En otras palabras, se puede conseguir la saturación o humedad relativa del 100% si se introduce grandes cantidades de vapor de agua (manteniendo constante la temperatura), o si se hace descender la temperatura a una inferior del ambiente, la presión del vapor de agua sería inferior a la que se tiene en esa temperatura. La presión parcial de vapor resultaría

entonces superior a la presión de vapor, y este se condensaría en cantidad suficiente para que la presión de vapor se reduzca a la presión parcial correspondiente a la temperatura más baja. "..... Este es el proceso que provoca la formación de nubes, niebla y lluvia. El fenómeno tiene lugar también con frecuencia durante la noche, cuando la superficie de la tierra se enfría por radiación. La humedad condensada se denomina rocío. Si la presión de vapor es tan baja que la temperatura ha de descender por debajo de 0 °C para producir la saturación, el vapor se condensa formando cristales de hielo en forma de escarcha.

La temperatura a la cual el vapor de agua contenido en una porción dada de aire se convierte en vapor saturado se denomina punto de rocío. La medida de temperatura del punto de rocío proporciona el método más exacto para determinar la humedad relativa..... " <sup>3</sup>.

### **1.2.2.1 Consideraciones generales para elegir los sensores de humedad.**

En la actualidad existen un sin número de sensores de humedad mismos que tienen un gran número de aplicaciones de acuerdo a las necesidades, razón por la cual se debe tener en cuenta las siguientes características al momento de elegir un sensor de humedad:

**Esenciales:** Dependen en gran parte si el sensor de humedad es de tipo Higrómetro, Psicrómetro o medidor de punto de rocío.

**Eléctricas:** Fuente de alimentación, tiempo de calentamiento, linealidad de respuesta y características de salida.

**Dinámicas:** Se refiere al tiempo de respuesta, este tiempo cambia para humedades diferentes, también es dependiente de la temperatura y del flujo de ventilación.

En razón de que se pueden disponer de varios tipos de sensores de humedad, en los siguientes subcapítulos, se mencionan los más importantes.

#### **1.2.2.1.1 Sensores de humedad higrométricos.**

Los sensores de humedad higrométricos se caracterizan por proporcionar una indicación directa de la humedad. Algunos materiales cambian sus dimensiones con la absorción o eliminación del agua. Hay dos materiales orgánicos que tienen esta característica, ambos muy utilizados: el cabello (especialmente humano) y ciertas membranas de animales, los mismos

---

<sup>3</sup> FÍSICA Mark w. Zemansky, editorial AGUILAR, pág. 389, 390

que al ser utilizados como sensores de humedad, producen variaciones de longitud muy pequeñas que pueden ser transducidas por un tipo de transductor de reluctancia o de galga extensiométrica. Algunos materiales inorgánicos (determinados plásticos) tienen características similares a las anotadas y pueden ser utilizados como sensores de humedad.

#### **1.2.2.1.2 Sensores de humedad higrométricos resistivos.**

Son ampliamente utilizados tanto en forma de oblea como de cilindro, se los fabrica a partir de plástico acrílico, con electrodos metalizados y revestidos con una suspensión de polvo de carbón en un portador de gelatina celulosa. La resistencia se incrementa al aumentar la humedad relativa, a este se le conoce como higrómetro resistivo de película de carbón.

También existe el higrómetro de sal higroscópica fabricado en forma cilíndrica rectangular y oblea de un material plástico como el poliestireno. Se colocan electrodos en ambas caras de la figura construida y sobre ellas se aplica una solución acuosa de sal higroscópica que actúa como elemento sensor, su efecto es al revés del higrómetro de película de carbón. Este tipo de sensores son muy utilizados en radiosondas.

#### **1.2.2.1.3 Sensores de humedad higrométricos de óxido de aluminio.**

Su principio de funcionamiento se basa en cambios de resistencia y de capacidad; es decir, de impedancia, al cambiar la humedad del ambiente. Su construcción, es básicamente de piezas de aluminio cuya superficie es tratada hasta conseguir una capa de óxido muy fina de una estructura que consiste en una multitud de poros y una fina película de oro. El vapor de agua atraviesa la capa de oro y se equilibra sobre las paredes de poros, que relaciona el funcionamiento con la presión del vapor de agua del medio ambiente. El número de moléculas de agua absorbidas por la estructura de óxido determina el cambio de impedancia del elemento.

También por otra parte, este tipo de sensor se caracteriza porque no se ve afectado por las variaciones de presión, dentro de determinados márgenes de tolerancia, y puede ser usado en un amplio rango de mediciones.

#### **1.2.2.1.4 Sensores de humedad higrométricos de cristal oscilante.**

Consisten en cristales de cuarzo revestidos de material higroscópico. El cristal se conecta como un elemento controlador de frecuencia en un circuito oscilador. La masa del cristal cambia con la cantidad de agua absorbida por el material, esto provoca un cambio en la

frecuencia de oscilación y se consigue como salida, una señal cuya frecuencia esta ligada linealmente con la humedad.

#### **1.2.2.1.5 Sensores de humedad higrométricos electrolíticos.**

Su principio de funcionamiento se basa en inyectar suficiente corriente como para mediante un proceso de electrólisis convertir al vapor de agua en hidrógeno y oxígeno. El vapor de agua se absorbe en un material desecante (como una película de pentóxido de fósforo) sobre el que se han enrollado los electrodos bifilares. La cantidad de corriente requerida por la electrólisis varía en función del vapor de agua absorbido; es decir, de esta forma la humedad, es proporcional a la corriente inyectada.

A este tipo de sensores se los aplica, a más de la humedad en la mayoría de los gases, excepto en los gases corrosivos, alcoholes e hidrocarburos no saturados.

#### **1.2.2.2 Sensores de humedad Psicrómetros.**

Los sensores de humedad psicrómetros se basan en la utilización de dos elementos separados para obtener lecturas de temperatura de cada uno de ellos y de las cuales se determinará la humedad relativa. Un elemento (bulbo seco) mide la temperatura ambiental. El otro elemento (bulbo húmedo) está envuelto en una mecha saturada con agua destilada y mide una temperatura inferior a la del ambiente, debido al enfriamiento por evaporación. En los psicrómetros la humedad se determina, pues, a partir de la lectura de la temperatura de los dos bulbos, utilizando una tabla o gráfico (gráfico psicrométrico), que además depende de la altura con relación al nivel del mar.

##### **1.2.2.2.1 Sensores de humedad del punto de rocío.**

Los sensores electrónicos del punto de rocío son del tipo de superficie enfriada y condensación o del tipo de disolución de cloruro de litio saturado. Los dispositivos de este tipo permiten no sólo detectar con gran precisión el momento en que se produce la condensación sino que tienen capacidad de seguir las variaciones del punto de rocío, mediante un circuito de bucle cerrado.

El punto de rocío, es la temperatura a la que las fases líquida y vapor de un fluido, están en equilibrio (el punto de equilibrio de las fases vapor y sólido se denomina punto de escarcha). A esta temperatura existe saturación del vapor de agua. Así, la humedad absoluta puede determinarse a partir de esta temperatura si se conoce la presión. El sensor para la medida

del punto de rocío tiene dos funciones: debe medir la temperatura de la superficie, que es enfriada artificialmente y debe detectar el cambio de fase de vapor a líquido (sólido). Para la medición de la temperatura se utiliza elementos resistivos o termoelectrónicos.

#### 1.2.2.2 El Sensor de humedad MultiMeterMate's.

Después del análisis acerca de los diferentes tipos de sensores de humedad existentes, es necesario elegir cuál de estos, es el más adecuado para su aplicación, en el prototipo a ser diseñado y construido.

Luego de un análisis que tomo en consideración el tipo de sensor que mejor se adapte a las necesidades del proyecto, la facilidad de su adquisición, información que proporcionan los fabricantes y precio, se concluyó que el MultiMeterMate's, ver figura 1.2, es un sensor de humedad de reacción rápida a los cambios en cantidades de vapor de agua existentes en el aire, permitiendo de esta manera tener una salida de tipo lineal, es decir 1 mV representa el 1% RH hasta un máximo de 100 mV que representan un 100 % RH.

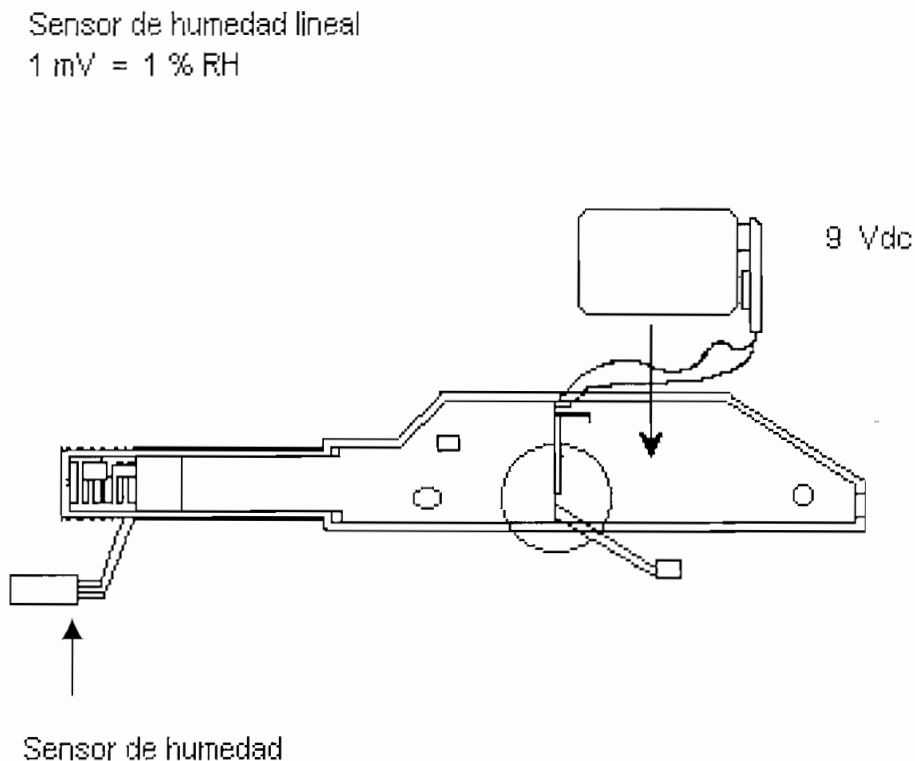


FIGURA 1.2 SENSOR DE HUMEDAD

Como recomendaciones del fabricante para la aplicación del sensor se tienen que tomar en cuenta lo siguiente: el medidor de humedad cambiará lentamente para evitar los errores causados por las diferencias de temperatura, el probador de humedad, debe estar siempre en un ambiente de temperatura estable antes de iniciar la medida y que dentro de espacios cerrados la humedad relativa debe ser medida en un lugar donde la temperatura esté cercana al promedio de temperatura del espacio como sea posible.

Las mediciones realizadas cerca de las fuentes de calor, tal como bombillas o radiadores, no dan un verdadero valor de mediciones de la humedad relativa en todo el espacio.

A más de ser un sensor de humedad de salida lineal y fácil transportación a cualquier lugar, su valor en cuanto ha costo es el más económico con sus similares en el mercado.

### 1.2.2.3 Especificaciones técnicas del sensor de humedad seleccionado.

- Rango de operación 0.....100 % RH
- Rango de mediciones (precisión especificada) 0....95 % RH
- Tiempo de respuesta (90%) a 20 °C (70 ° F) 15s  
en el aire inmóvil
- Humedad relativa 0....100 mV <> 0..100 % RH
- Impedancia de entrada 10 MΩ (mínimo) a una escala de 100 mV.
- Temperatura de operación - 19 °C..... +60 °C
- Consumo de corriente 2 mA
- Alimentación de energía 9 Vdc

### 1.2.3 SENSOR DE TEMPERATURA.

Dentro del equipo de registro, para tomar datos que permitan establecer la contaminación, uno de los conceptos básicos es el de la temperatura; virtualmente todo trabajo cuantitativo en el área de contaminación ambiental implica, de una u otra manera, alguna medida de la temperatura. Una definición en forma aproximada, es la que se expresa a continuación; donde se incluyen conceptos que ayudan a comprender mejor la definición:

"...Temperatura de un sistema es aquella propiedad que determina si está o no en equilibrio térmico con otros sistemas. Cuando dos o más sistemas se hallan en equilibrio térmico, se dice que tiene la misma temperatura.

La temperatura de todos los sistemas en equilibrio térmico puede representarse por un número.

Establecer una escala de temperaturas consiste simplemente en adoptar un conjunto de reglas para asignar números a las temperaturas. Una vez hecho esto, la condición para que exista equilibrio térmico entre dos sistemas es que tengan la misma temperatura. Así, cuando las temperaturas son diferentes, podemos asegurar que los sistemas no están en equilibrio térmico..."<sup>4</sup>.

### 1.2.3.1 Consideraciones generales para elegir los sensores de temperatura.

Si se quiere determinar las temperaturas de cierto número de sistemas, el procedimiento más sencillo es elegir uno de ellos como indicador del equilibrio térmico entre él y los restantes sistemas. El sistema así elegido se denomina termómetro eléctrico. La indicación del termómetro eléctrico (sensor de temperatura) es la temperatura de todos los sistemas que están en equilibrio térmico con él. Las características importantes que se deben tomar en cuenta en la elección de un sensor de temperatura son:

**Sensibilidad.** Cambio apreciable de la coordenada de estado, debido a una pequeña variación de temperatura.

**Precisión.** Medida de la coordenada de estado.

**Fidelidad.** Exactitud en la ejecución de la medida de la coordenada.

**Rapidez.** Cambio de la coordenada para llegar a un equilibrio térmico con otros sistemas.

Los sensores de temperatura, se caracterizan por tener en un mismo elemento las funciones sensoras y de transducción. Estos elementos sensores-transductores se denominan simplemente así: elementos sensores.

En razón de que se pueden usar varios materiales, para disponer de un sensor de temperatura, se tienen algunos tipos, dentro de los que se pueden citar como los más importantes, los que se exponen en los siguientes subcapítulos.

### 1.2.3.2 Sensores de temperatura de cristales de cuarzo.

Utilizados como elementos controladores de frecuencia en circuitos oscilantes, se pueden utilizar como sensores de temperatura, por la sensibilidad de estos cristales a los

---

<sup>4</sup> ZEMANSKY Mark ed. Aguilar pag 326.



cambios de temperatura, situación perfectamente conocida en los campos de ingeniería de comunicación.

Este tipo de cristales de cuarzo únicos con una orientación que optimizan la frecuencia en función de la temperatura se los ha desarrollado para tener en determinados casos hasta una sensibilidad de  $1 \text{ Hz} / ^\circ \text{C}$ .

### **1.2.3.3 Sensores de temperatura de ruido térmico (termómetros de ruido).**

Han sido desarrollados para la utilización experimental. El principio operativo es la dependencia con la temperatura del ruido (térmico) generado en una resistencia.

La resistencia se conecta a un amplificador de elevada ganancia diseñado de manera que amplifica el ruido térmico en la resistencia sin contribuir con una cantidad significativa de ruido externo, una de sus aplicaciones es para utilizarlos en la medida de temperatura muy bajas entre  $10 \text{ }^\circ\text{K}$  y  $90 \text{ }^\circ\text{K}$  e inclusive por debajo de  $1 \text{ }^\circ\text{K}$ .

### **1.2.3.4 Sensores de temperatura Acústicos.**

Se emplean en medidas experimentales de no sólo temperaturas criogénicas<sup>5</sup> bajas (por debajo de  $20 \text{ }^\circ\text{K}$ ) sino también de temperaturas altas y muy altas hasta aproximadamente  $17000 \text{ }^\circ \text{K}$ , como ejemplo se tiene su aplicación para medidas de temperaturas de plasma). Se ha utilizado diversas técnicas para obtener medidas de temperaturas basadas en el efecto térmico por cambios en la velocidad de propagación del sonido a través de un sólido, líquido, o gas caliente (frío) detectándose que esta velocidad tiende a disminuir, al aumentar la temperatura en líquidos y sólidos, y a aumentarse con la temperatura en los gases.

### **1.2.3.5 Sensores de temperatura capacitivos.**

Estos sensores se basan principalmente en los cambios inducidos por las temperaturas en las características del dieléctrico y han sido utilizados principalmente en las medidas en las regiones muy criogénicas bajas. Se debe tomar en cuenta que el material dieléctrico se selecciona para obtener una dependencia con la temperatura en el rango deseado. Como desarrollo sobresaliente se incluyen sensores capacitivos de película delgada, con unos tiempos de respuesta muy rápidos (por debajo de  $1 \text{ ms}$ ), una de las ventajas es la ausencia de errores debido a los campos magnéticos.

### **1.2.3.6 Sensores de temperatura resistivos mediante conductores.**

Los conductores utilizados en este tipo de sensores muestra generalmente un aumento de resistencia con la temperatura. El cambio de resistencia viene dado por el coeficiente de temperatura de resistencia del conductor y la resistencia base de un elemento sensor de temperatura conductor. Para los propósitos de medición de temperatura es importante tener un conductor que tenga, un valor de coeficiente térmico de resistencia alto, con el fin de obtener cambios de resistencias sustanciales, situación que va a permitir que el valor del coeficiente térmico permanezca constante dentro de un rango muy amplio, y que la característica de la resistencia en función de la temperatura sea lineal.

### **1.2.3.7 Sensores de temperatura resistivos utilizando semiconductores.**

Los sensores de temperatura semiconductores utilizados ampliamente son los termistores. Su rango de medida se encuentra entre  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$  aunque algunos diseños se han utilizado para temperaturas más bajas. Estos se caracterizan por una elevada resistividad y un alto coeficiente de temperatura de resistencia negativa. La relación  $R/T$  (Resistencia / Temperatura) es no lineal y tiene características de potencia nula.

El término potencia nula se refiere a una potencia de disipación baja de manera que el autocalentamiento es despreciable y que la corriente de excitación se pueda considerar por debajo de los  $100\text{ }\mu\text{ A}$ .

### **1.2.3.8 Sensores de temperatura termoelectrónicos.**

Este tipo de sensores se caracterizan porque son dos conductores diferentes y forman un circuito mediante la unión en los extremos, se mantienen a diferentes temperaturas, en la unión se desarrolla una fuerza electromotriz de tal manera que al unir el otro extremo restante a un amperímetro este registre el valor de una corriente que circula por ese circuito. La fuerza electromotriz depende de las clases de metal usado y de las temperaturas de las dos uniones. Resulta pues que este fenómeno ayuda en sí a la medida de la temperatura.

### **1.2.3.9 El sensor de temperatura LM335.**

Luego del análisis de los diferentes tipos de sensores de temperatura disponibles se hace necesario tomar una decisión, acerca de cual de los sensores es el más apropiado para su

---

<sup>5</sup> Técnicas de la producción de medidas en bajas temperaturas



### 1.3 CARACTERISTICAS BASICAS DEL SISTEMA DE MONITOREO.

Para el diseño y construcción del prototipo, objeto de la presente tesis se hacen necesario tomar en consideración los siguientes aspectos:

1. - Que sea portable, con la finalidad de poder trasladar a cualquier parte de la ciudad de Quito.
2. - Que permita realizar las mediciones de temperatura, humedad y monóxido de carbono que son las variables importantes en la contaminación del aire por escapes de los automotores.
3. - Que permita almacenar los datos de información producto de las mediciones y que los mismos puedan ser descargados en un computador para su procesamiento.
4. - Que las mediciones puedan ser interpretadas fácilmente por las personas interesadas en los resultados.

#### 1.3.1 Características técnicas del equipo.

1. Voltaje de entrada (rms)	100 -240 ± 10 % Vac,	3.2 A,
2. Frecuencia de trabajo	47 - 63 Hz	
3. Protección (fusible)	250 V /	3.5 A
4. Voltaje de alimentación a los circuitos		
• Vcc	5 Vdc,	12 A
• Vee	+ 12 Vdc,	3 A
• Vss	- 12 Vdc,	1 A
5. Temperatura		
• Rango de operación	0 a 50	°C
• Rango de medición	0 a 50	°C
6. Humedad*		
• Rango de operación(no condensado)	0 a 96	% RH
• Rango de medición	0 a 96	% RH
7. Monóxido de Carbono**		
• Rango de operación	0 a 2257	ppm
• Rango de medición	12 a 1000	ppm

\* Funciona con una fuente de voltaje independiente de 9 Vdc

\*\* Dispone de un display que solamente presente valores referenciales y promediados durante 2,5 minutos según especificaciones del fabricante.

<b>8. Dimensiones</b>	Aprox.	300x100x400 mm (an/al/prf)
<b>9. Peso</b>		4.0 Kg
<b>10. Accesorios suministrados</b>		
• Cable de alimentación de CA		1
• Cable de transmisión de datos con switch y conectores DB9		1
<b>11. Comunicación serial</b>		
• Velocidad		2400 bps
• Longitud de la palabra		8 bits
• Bit de parada		1 bit
• Paridad		ninguna
<b>12. Puertos opcionales<sup>***</sup></b>		
• Puertos disponibles de entradas al conversor		5
<b>13. Forma de trabajo</b>		
• Solamente en forma horizontal y en lugares firmes.		

---

<sup>\*\*\*</sup> Para futuras aplicaciones debe considerarse las siguientes especificaciones técnicas:  $V_{in} = 5Vdc$ ,  $I_{max} = 5mA$ , al igual de los que se encuentran instalados.

## **CAPITULO II**

### **DISEÑO Y CONTRUCCION DEL PROTOTIPO**

## **CONTENIDO CAPITULO II**

**2.1. DISEÑO DE CADA UNA DE LAS ETAPAS**

**2.2. DISEÑO UTILIZANDO EL MICROCONTROLADOR**

**2.3. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO**

## 2.1 DISEÑO DE CADA UNA DE LAS ETAPAS.

Para el diseño de cada una de las etapas y posterior construcción del prototipo, se requiere en primer lugar de un amplificador de señal para el sensor de humedad y un amplificador diferencial de señal para el sensor de temperatura, puesto que en los dos casos se tienen niveles de señales que están en el rango de los milivoltios respectivamente y que por tanto se necesitan amplificar, hasta un rango manejable por el conversor analógico - digital (de 0 voltios a 5 voltios), en el caso del sensor de monóxido de carbono la amplificación no es necesaria, puesto que el mismo dispone del circuito de adaptación y entrega una señal de 0 voltios a 5 voltios que es una relación directa del monóxido de carbono en el ambiente; es decir, lista para ingresar al conversor analógico - digital (ADC 0808).

Una vez realizadas las amplificaciones de las señales de salida de los sensores de humedad y temperatura, estas ingresan conjuntamente con la señal del sensor de monóxido de carbono al conversor analógico - digital (ADC 0808). Se trabaja con este tipo de conversor analógico digital por la facilidad que ofrece para manejar las señales de los tres sensores sin que sean necesario circuitos individuales para poder manejar dichas señales y además porque se tiene la opción de que a futuro se puede incrementar más sensores hasta ocho en total, sin alterar el diseño original, limitándose tan solo a la actualización del programa de control.

Finalmente las señales convertidas a digital son enviadas al microprocesador para que sean tratadas y almacenadas en memoria y posteriormente enviadas al computador para su procesamiento final.

### 2.1.1 Diseño de la etapa de amplificación del sensor de humedad.

Para el diseño de la etapa de amplificación de la señal de salida del sensor de humedad se decidió utilizar un amplificador compuesto por tres etapas en cascada, como se ilustra en la figura 2.1. La primera etapa la constituye un amplificador "seguidor de voltaje" de ganancia unitaria  $A_1 = 1$  y a continuación dos etapas de ganancias  $A_2 = 10$  y  $A_3 = 5$  respectivamente, entonces se tiene que la ganancia  $A_t = A_1 * A_2 * A_3$ , lo que implica que el conjunto da una ganancia total de 50, la razón de este circuito está en el hecho de que la primera etapa es de aislamiento de la señal con respecto al resto del circuito y las dos restantes para corregir una señal que se adapte al conversor analógico - digital. Por lo que, para los valores máximos se tendría:

$V_{inmax} = 100 \text{ mV}$  a la salida del sensor de humedad.

$V_{outmax} = 5 \text{ V}$  a la salida del amplificador de señal.

$$A_t = \frac{V_{outmax}}{V_{inmax}}$$



Considerando que la ganancia total es  $A_1 = 50$  y que la ganancia de la segunda etapa es  $A_2 = 10$ ; se obtienen los valores de las resistencias para la ganancia especificada, como iguales a  $R_{12} = 100 \text{ K}\Omega$  y  $R_{11} = 10 \text{ K}\Omega$ ; de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$A_2 = \frac{R_{12}}{R_{11}}$$

De la misma manera para la tercera etapa, la ganancia sería:

$$A_3 = \frac{R_{14} + P_{11}}{R_{13}}$$

Para la ganancia requerida se han escogido los siguientes valores de los componentes  $R_{13} = 100 \text{ K}\Omega$ ,  $R_{14} = 10 \text{ K}\Omega$  y  $P_{11}$  de acuerdo a las ecuaciones anteriores  $490 \text{ K}\Omega$ ; pero este valor requerido para el potenciómetro no existe en el mercado y el más aproximado es de  $500 \text{ K}\Omega$  de gran precisión lo que facilita tener una ganancia ajustable y a la vez confiable, debido a su rango de variación.

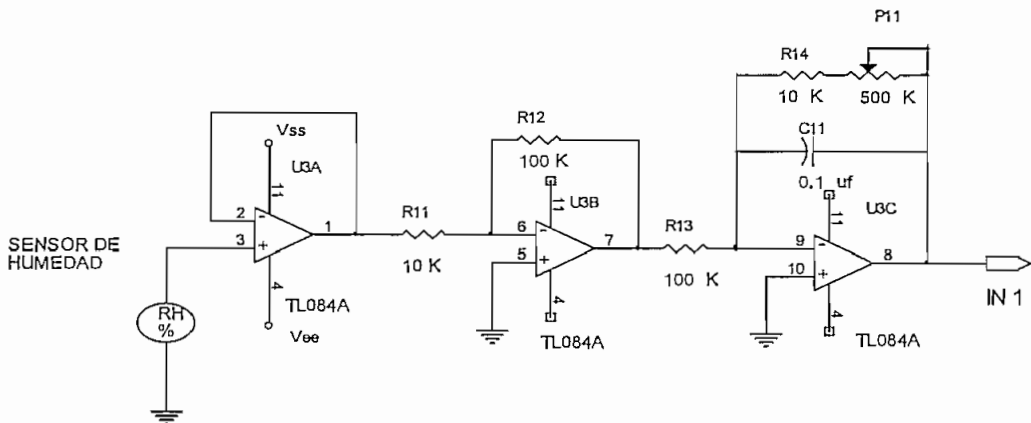


FIGURA 2.1 CIRCUITO AMPLIFICADOR DEL SENSOR DE HUMEDAD

Cabe detectar también que la ganancia establecida es necesaria debido a que el sensor proporciona una señal de  $1 \text{ mV}$  por cada  $1 \%$  de Humedad Relativa. Y en vista de que el rango a medir es de  $1 \%$  a  $100 \%$  de RH, el voltaje máximo será de  $100 \text{ mV}$ . Por otra parte, como se utiliza el rango completo del conversor ADC0808, se necesita que el rango de voltaje sea de  $0 \text{ V}$  a  $5 \text{ V}$ , requiriendo una ganancia de voltaje de  $50$  en la amplificación total del circuito de adaptación.

Para concluir, esta última etapa de amplificación cuenta con un filtro pasabajos cuya frecuencia de corte esta dada por la siguiente formula:

$$f = \frac{1}{2\pi RC_{11}}$$

Donde  $R = R_{14} + P_{11} = 510 \text{ K}\Omega$  y  $C_{11} = 0.1 \mu\text{f}$  con lo que se obtiene  $f = 3.12 \text{ hz}$ ; lo que permite filtrar las componentes de 60 Hz de la red, la presencia de ruido externo y de la fuente, que pudieran alterar la operación del amplificador y llevar a que se tengan señales erróneas en la salida.

### 2.1.2 Diseño de la etapa de amplificación del sensor de temperatura.

Como sensor de temperatura se ha tomado el circuito LM335, como un elemento que permite tener alta confiabilidad y resolución en cuanto a la seguridad que presenta al tener una estrecha relación entre voltaje y temperatura como se había explicado anteriormente en las características técnicas.

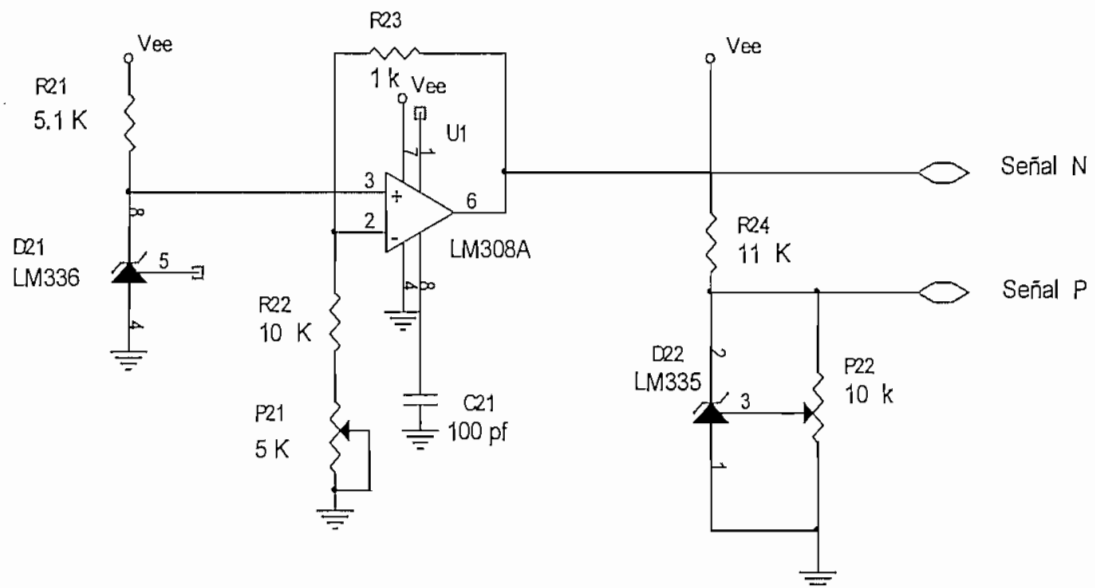


FIGURA 2.2 CIRCUITO DE REFERENCIA DE SEÑAL DE TEMPERATURA

Como circuito de adaptación de la señal del sensor de temperatura se ha considerado el que se presenta en la figura 2.2; en dicho circuito el diodo LM336 de 2.5 V, trabaja como una derivación tipo shunt. Este diodo de referencia no presenta alteraciones en su funcionamiento con las variaciones de la temperatura; y sus características técnicas más importantes son las siguientes:

Bajo coeficiente de temperatura.

Rango de operación de corriente entre 300  $\mu\text{A}$  y 10 mA.

$\pm 1\%$  de tolerancia inicial.

0.2 ohm de impedancia dinámica.

Estabilidad de temperatura garantizada, entre 0 °C y 70 °C.

Para la polarización del diodo LM336 se utiliza una corriente de aproximadamente 1.9 mA, lo que da como resultado una  $R_{21}$  de 5.1 K $\Omega$ , garantizando que el valor de corriente se encuentre dentro del rango de operación y es el recomendado por el fabricante.

Por las razones técnicas expuestas anteriormente y por la facilidad de poder implementarse el circuito de referencia de temperatura, como por razones económicas se escoge este dispositivo.

El circuito de referencia de la figura 2.2, cuenta con un amplificador operacional LM308A, que es un amplificador de precisión y estable a las variaciones de temperatura; tiene un voltaje de offset menor a 1 mV y variaciones en el orden de 5  $\mu\text{V} / ^\circ\text{C}$ . De esta manera se logra que en el punto de salida se tenga un voltaje que debe ser igual a 2.73 V, para lo cual se utiliza el potenciómetro de referencia  $P_{21}$  igual a 5 K $\Omega$ , garantizando de esta manera que el rango de ajuste sea lo más aproximado posible como se puede apreciar con la ecuación siguiente:

$$V_{out} = -\frac{R_{23}}{R_{22} + P_{21}} * V_1 + \left(1 + \frac{R_{23}}{R_{22} + P_{21}}\right) * V_2$$

Donde  $V_1 = 0\text{ V}$  y  $V_2 = 2.5\text{ V}$ , permitiendo de esta manera tener un rango de salida para  $V_{out}$  que va desde 2.66 V, cuando  $P_{21} = 5\text{ K}\Omega$ , hasta 2.75 V, cuando  $P_{21} = 0\text{ K}\Omega$ , determinando de esta forma que el circuito de referencia cuente con gran precisión de ajuste en el punto de salida y esto es el voltaje de 2.73 V, que al igual que  $C_{21} = 100\text{ pf}$  es recomendación del fabricante<sup>6</sup>.

El circuito sensor de temperatura LM335 (características técnicas explicadas anteriormente) actúa sobre la base de su característica lineal e igual a 10 mV / °C, partiendo de un inicio de rampa a 0 °C con un voltaje equivalente de 2.73 V, y para el caso del diseño del prototipo hasta una temperatura de 50 °C con un voltaje equivalente de 3.23 V. Se puede apreciar que en la figura 2.2 la resistencia  $R_{24}$  permite circular por el sensor una corriente de 1.1 mA

<sup>6</sup> National Semiconductor LM308.A Página 3-88

encontrándose de esta forma dentro del rango permitido por el fabricante, el potenciómetro P<sub>22</sub> facilita la calibración del sensor de temperatura como los recomienda el fabricante<sup>7</sup>.

Los niveles de señal de salida **N** y **P** figura 2.2 del sensor y del elemento de referencia se conectan a la entrada del respectivo amplificador. Los amplificadores operacionales a los que se alimentan con estas señales, tienen la configuración como seguidores de emisor esto es: la entrada inversora conectada a la salida. Esta configuración permite una muy alta impedancia de entrada y una ganancia de valor unitario. Al tener una alta impedancia de entrada elimina todas las influencias que pueden darse del amplificador con las del sensor.

### 2.1.2.1 Circuito de amplificación.

Como se indicó anteriormente, la salida del circuito de amplificación operacional es de 10 mV por grado centígrado; por ejemplo si la temperatura ambiente es de 20 °C, a la salida del circuito es 200 mV, más la referencia que es de 2.73 V; es decir que es igual a 2.93 V.

Como para este caso es necesario que las medidas de temperatura estén ajustadas a un rango comprendido entre 0 V y 5 V, es necesario que la salida del circuito sea tratada de tal manera que a la temperatura ambiente se tenga un valor comprendido entre 0 °C a 50 °C, por lo tanto se prevé un circuito de acondicionamiento como el indicado en la figura 2.3 en base de los amplificadores operacionales TL084.

El circuito TL084 es un amplificador de instrumentación, en el cual se puede ajustar tanto el rango de trabajo como el punto en el cual debe marcar cero.

La señal de voltaje que provienen del circuito de referencia, ingresa en el circuito de amplificación a través de dos operacionales en configuración de seguidores de voltaje, para posteriormente ingresar al amplificador diferencial.

Este tipo de configuración permite tener a la entrada de la señal una impedancia muy alta, al igual que dispone de un ajuste de CMRR (razón de rechazo en modo común). De acuerdo a la figura 2.3 la ganancia del amplificador diferencial está por:

$$A = \frac{R_{32}}{R_{31}}$$

---

<sup>7</sup> National Semiconductor LM335      Página 9-21.

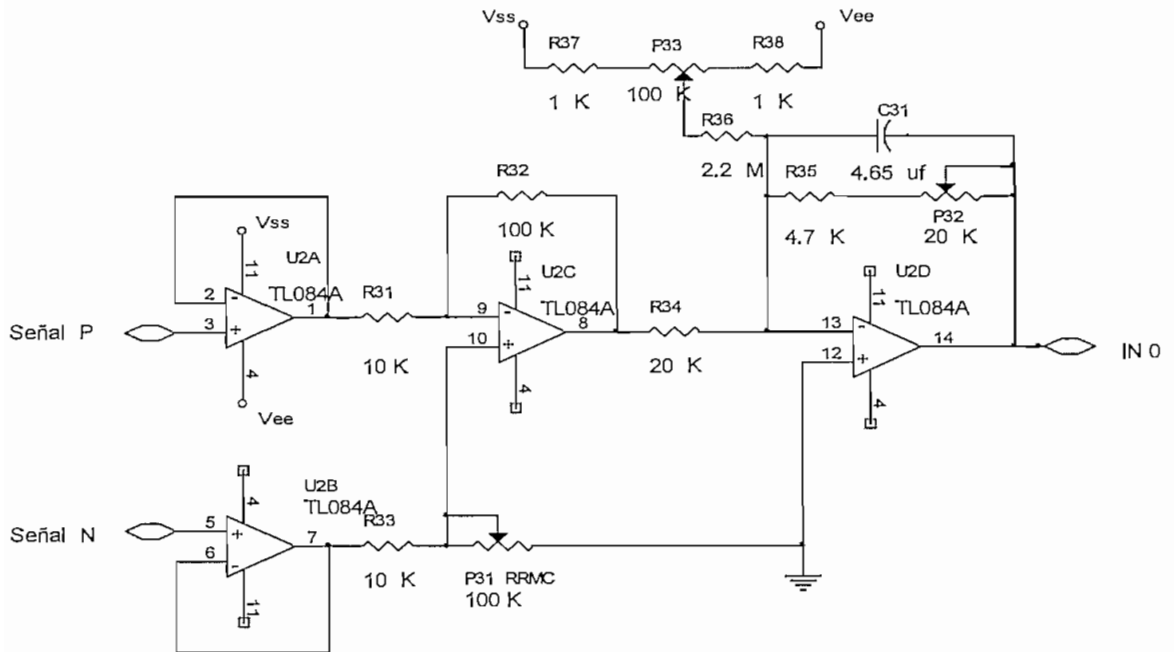


FIGURA 2.3 CIRCUITO AMPLIFICADOR DEL SENSOR DE TEMPERATURA

Para el máximo valor de temperatura que es 50 °C, se tiene en el circuito una salida igual a 500 mV, la misma que debe ser amplificada hasta 5 V, por lo que la ganancia debe ser:

$$A = \frac{5V}{0.500V} = 10$$

De acuerdo a lo indicado en el circuito, existe una segunda etapa de amplificación, por lo que la ganancia total es factible dividirla en dos partes, para esto se escogen valores de

$R_{31} = 10 \text{ K}\Omega$  y  $R_{32} = 100 \text{ K}\Omega$ , entonces:

$$A_1 = \frac{R_{32}}{R_{31}} = \frac{100\text{K}\Omega}{10\text{K}\Omega} = 10$$

Para tener una relación de rechazo en modo común de un valor máximo, la relación entre  $R_{33}$  y  $P_{31}$  debe ser la misma que entre  $R_{31}$  y  $R_{32}$ . El potenciómetro  $P_{31}$  se coloca en lugar de la resistencia de precisión; y, el valor de  $R_{33}$  se mantiene en 10 K $\Omega$ .

La segunda etapa amplificadora esta formada por un amplificador sumador. La primera señal a sumarse es la proveniente de el potenciómetro  $P_{33}$ , sirve para compensar con un

voltaje negativo el valor correspondiente a la salida del amplificador diferencial en la temperatura ambiente, y de esta manera lograr cero voltios a la salida. Las resistencias  $R_{37}$  y  $R_{38}$  se utilizan para definir un rango de variación o ajuste sin llegar a valores extremos. Se escogen los valores de  $R_{37} = 1\text{ K}\Omega$ ,  $R_{38} = 1\text{ K}\Omega$  y  $P_{33} = 100\text{ K}\Omega$ . Con el potenciómetro  $P_{32}$  se ajusta la ganancia del segundo amplificador. Con las resistencias de entrada  $R_{36}$  y  $R_{34}$  con valores de  $2.2\text{ M}\Omega$  y  $20\text{ K}\Omega$  cada una, y el potenciómetro  $P_{32}$  de  $20\text{ K}\Omega$  con  $R_{35}$  de  $4.7\text{ K}\Omega$  se tiene en cada caso un valor máximo de ganancia:

$$A_2 = \frac{R_{35} + P_{32}}{R_{34}} = \frac{24.7\text{ K}\Omega}{20\text{ K}\Omega} = 1.235$$

Por lo tanto la ganancia del sistema de amplificación tiene un valor máximo de:

$$A_{\text{max}} = A_1 * A_2 = 10 * 1.235 = 12.35$$

Como en este circuito se están amplificando señales muy pequeñas, se debe procurar evitar la presencia de cualquier tipo de ruido, para lo cual se coloca el capacitor  $C_{31}$  en configuración de un filtro pasabajos. Al estar amplificando señales de corriente continua y tomando en cuenta que la principal fuente de ruido está dada por la línea, se debe asegurar entonces, que este filtro no permita el paso de ruido de la frecuencia de la red, por lo tanto si se toma como frecuencia de corte  $1.5\text{ Hz}$ :

Para este caso con  $R = R_{35} + P_{32} = 27\text{ K}\Omega$  y  $f_c = 1.5\text{ Hz}$ , se halla  $C_{31}$ , por lo que  $C_{31} = 3.92\text{ }\mu\text{f}$ , tomando un valor estándar,  $C_{31} = 4.65\text{ }\mu\text{f}$ , valor que se lo establece de la siguiente expresión:

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_{34} C_{31}}$$

## 2.2 DISEÑO UTILIZANDO EL MICROCONTROLADOR.

Después de las etapas descritas, las señales amplificadas como es el caso de los sensores de humedad y temperatura respectivamente e inclusive el sensor de monóxido de carbono y los futuros sensores que pueden incrementarse posteriormente, todos con una señal de salida en el rango de 0 a 5 Vdc pasan a una etapa muy importante que es la conversión analógica-digital, para luego ser procesadas por el microcontrolador DS2250T y sus periféricos respectivos.

## 2.2.1 El conversor analógico – digital.

La conversión analógica - digital constituye la interfaz entre la señal analógica proveniente de los sensores y la señal digital requerida por el microcontrolador para su adecuado procesamiento. Se consideró oportuno utilizar el conversor analógico - digital de la familia ADC0808, el mismo que presenta las siguientes características técnicas:

- Resolución de 8 bits.
- Error total de desajuste  $\pm \frac{1}{2}$  LSB y 1 LSB.
- No maneja códigos mezclados.
- Tiempo de conversión 100  $\mu$ s.
- Usa una sola fuente de alimentación + 5 Vdc.
- 8 canales de entrada multiplexados con control de memoria.
- Rango de entrada de voltaje analógico de 0 a 5 Vdc.
- No requiere de ajustes de 0 o de full escala.
- Control totalmente compatible con microprocesadores de tipo MCS-51 o Dallas.
- Rango de temperatura de -40 °C a +85 °C o de -50 °C a +125 °C.
- Latched TRI-STATE output.

Para facilitar el diseño se utiliza todo el rango de entrada analógica, es decir de 0 a 5 Vdc, para cualquiera de los sensores en la presente aplicación y las que a futuro pueda tenerse, de esta manera se establece que al aumentar otro tipo de sensores, estos deben siempre tener una salida de señal entre 0 y 5 Vdc, con lo cual se tiene la ventaja de que se podrá habilitar por programación en el microcontrolador las restantes entradas al conversor ADC0808, puesto que este tipo de conversor tiene un multiplexor que maneja 8 canales de señales analógicas, como lo indican las especificaciones técnicas citadas en el anexo de la presente tesis.

La distribución de pines para este circuito integrado se muestra en la figura 2.4.

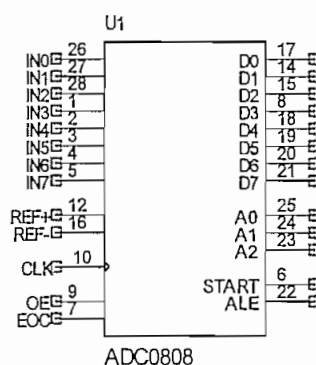


FIGURA 2.4 CONVERTOR ANALOGICO DIGITAL ADC0808

El control de la operación de este dispositivo se lo realiza desde el microcontrolador con la ayuda del programa elaborado para el efecto. El programa habilita a través de los pines P<sub>2,4</sub>, P<sub>2,5</sub>, P<sub>2,6</sub>, las entradas A<sub>0</sub>, A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> del conversor ADC0808, para que la señal del respectivo canal ingrese por el puerto P<sub>1</sub> al microcontrolador. Inmediatamente se genera un pulso en el pin P<sub>2,7</sub> para las entradas START y ALE del conversor, lo que origina el inicio de la conversión. Cuando el circuito termina el ciclo de conversión cambia de estado la señal EOC (End Of Conversion) que conectada a la entrada de la interrupción externa INT0, una vez en la rutina se genera un pulso en el pin T0 que va al OE (Output Enable) para que los datos de la conversión se pongan en las salidas del conversor y es entonces cuando se leen los datos por el puerto P1 del microcontrolador; lo explicado puede observarse en la figura 2.5.

### 2.2.2 El reloj externo.

Para el trabajo del conversor analógico- digital es necesario tener un oscilador externo con una señal de reloj de una frecuencia 504 Khz; para lo cual se ha utilizado un inversor 74LS14 en la configuración que se ilustra en la figura 2.6, donde los valores de R<sub>6</sub> = 432 Ω y de C<sub>3</sub> = 0.0027 μf se han obtenido de la siguiente expresión dada por el fabricante:

$$f = \frac{1}{1.7R_6C_3}$$

La frecuencia del reloj que requiere el conversor ADC0808, no es en lo absoluto crítica

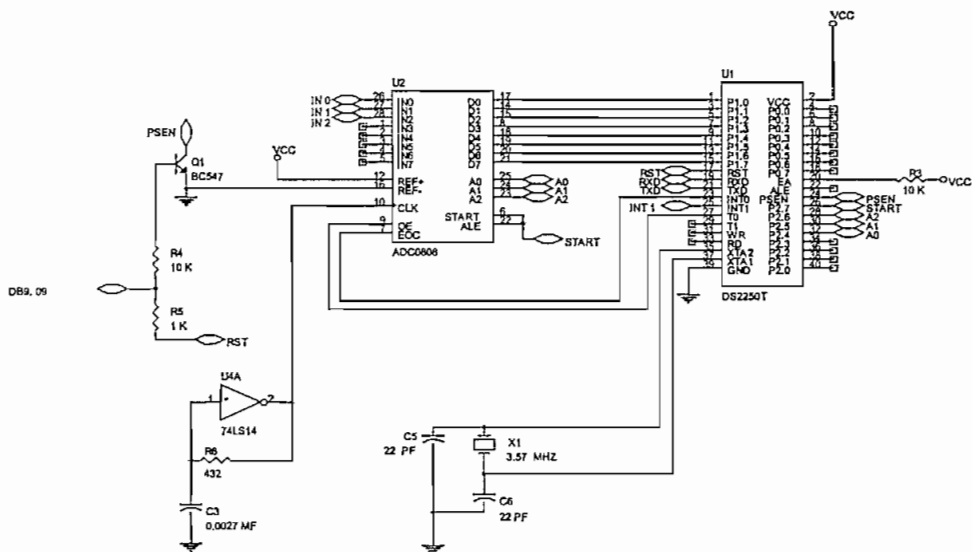


FIGURA 2.5 LAS CONEXIONES CON EL CONVERTOR ADC 0808



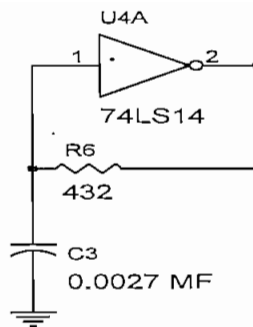


FIGURA 2.6 OSCILADOR EXTERNO PARA EL CONVERSOR ADC0808

por cuanto el trabajo lo realiza en forma sincronizada con el reloj del microprocesador, afectando de esta manera únicamente al tiempo de conversión y por ningún motivo al valor convertido.

### 2.2.3 El microcontrolador DS2250T.

Se decidió realizar el diseño en base a un microcontrolador y de las distintas posibilidades, se resolvió utilizar el microcontrolador DS2250T del fabricante Dallas Semiconductor; En razón de que este dispositivo desde el punto de vista de su set de instrucciones es similar a los de la familia MCS-51 de Intel, que es el microcontrolador de mayor difusión en el mercado y es el que se estudia en la facultad.

Además, en la aplicación en el presente trabajo es importante que los datos a ser registrados tengan como referencia la hora y día de su ocurrencia y el circuito DS2250T, tiene incorporado un reloj calendario en tiempo real. Otra de las ventajas de este circuito es que dispone de memoria NVRAM, lo que permite que si falla la energía de la red, la información permanezca inalterada.

Por otra parte, permite gran comodidad para la programación directa del microcontrolador, es decir no necesita dispositivos adicionales como programador y borrador, sino que puede hacerlo directamente a través de un puerto serial, se puede seleccionar libremente la memoria para programas y datos de acuerdo a las necesidades, en este caso sirve para guardar los datos que se obtengan de los registros: como la humedad, temperatura, monóxido de carbono y otros a futuro. Las características más importantes del circuito DS2250T son las siguientes; sin embargo, mayor información sobre este controlador se puede ver en los anexos a la presente tesis:

- RAM de alta ejecución de 8 a 32 Kbytes, del tipo no volátil para programas y /o guardar datos en memoria.
- Programación directa del circuito a través del puerto serial del computador.
- Posibilidad de modificar el programa y /o los datos de la memoria.
- Dispone de 128 registros internos no volátiles para la operación del circuito.
- Facilidad en las pruebas y rapidez de operación.
- En ausencia de la energía principal mantiene la información en la NVRAM por 10 años.
- Totalmente compatible con la industria standard 8051 y su set de instrucciones.
- DS2250T: Esta permanentemente energizado el reloj/calendario.
- Dispone de 32 pines en los puertos, todos para I/O.

### 2.2.3.1 Breve descripción de los pines según el manual.

Pin	Descripción
Vcc, Gnd	Señales de polarización
P0.7 – P0.0	Puerto 0: bidireccional I/O; También estos pines se utilizan en función de:
AD7- AD0	Bus direcciones/datos: bidireccional
P1.7-P1.0	Puerto 1: Bidireccional I/O
P2.7-P2.0	Puerto 2: Bidireccional I/O También estos pines se utilizan en función de:
A15-A8	Bus de direcciones: salidas
P3.7-P3.0	Puerto 3: Bidireccional I/O Otro de los pines en el puerto 3 se puede seleccionar para utilizar en una función alterna; como se describe abajo:
RD* * (P3.7)	Autorización de lectura en memoria de datos externo: salida; se activa en bajo
WR*	Autorización de escritura en memoria de datos externa: salida; se activa en bajo.
T1,T0 (P3.5,P3.4)	Pines timer/contador : salidas; se activan en alto
INT1*, INT0* (P3.3,P3.2)	Pines de interrupción externa: Salidas; se activa en bajo
TXD (P3.1)	Transmisión de datos: salida
RXD (P3.0)	Recepción de datos: entrada
RST	Reset: entrada; se activa en alto.
ALE (PROG)*	Address Latch Enable; salida se activa en alto, (o Program Byte Enable); entrada; se activa en bajo
PSEN*	Program Store Enable: salida; se activa en bajo
EA*(VPP)	External Access Enable: entrada se activa en bajo (o VPP es una entrada de voltaje para programación
XTAL1, XTAL2	Entradas del oscilador de cristal

\* Todos los nombres denotadas con \* son señales invertidas.

El DS2250T es el microcontrolador que se ha utilizado en la construcción del prototipo, el mismo que corresponde a un circuito de la serie DS5000 dispositivo que facilita enormemente la construcción del prototipo, al cumplirse los siguientes objetivos: disponer de un reloj en tiempo real y memoria suficiente para guardar los datos obtenidos de los registros preestablecidos: temperatura, humedad, y monóxido de carbono, para luego descárgalos en un computador, donde con ayuda de un programa de gestión se va a tener la mayor versatilidad en la visualización de los gráficos de los resultados.

El microcontrolador DS2250T es un dispositivo del tipo SIMM de 40 pines y cuya descripción se presenta esta en la figura 2.7.

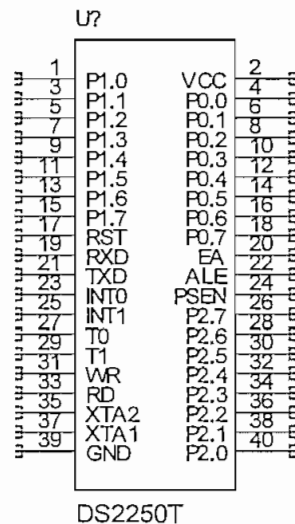
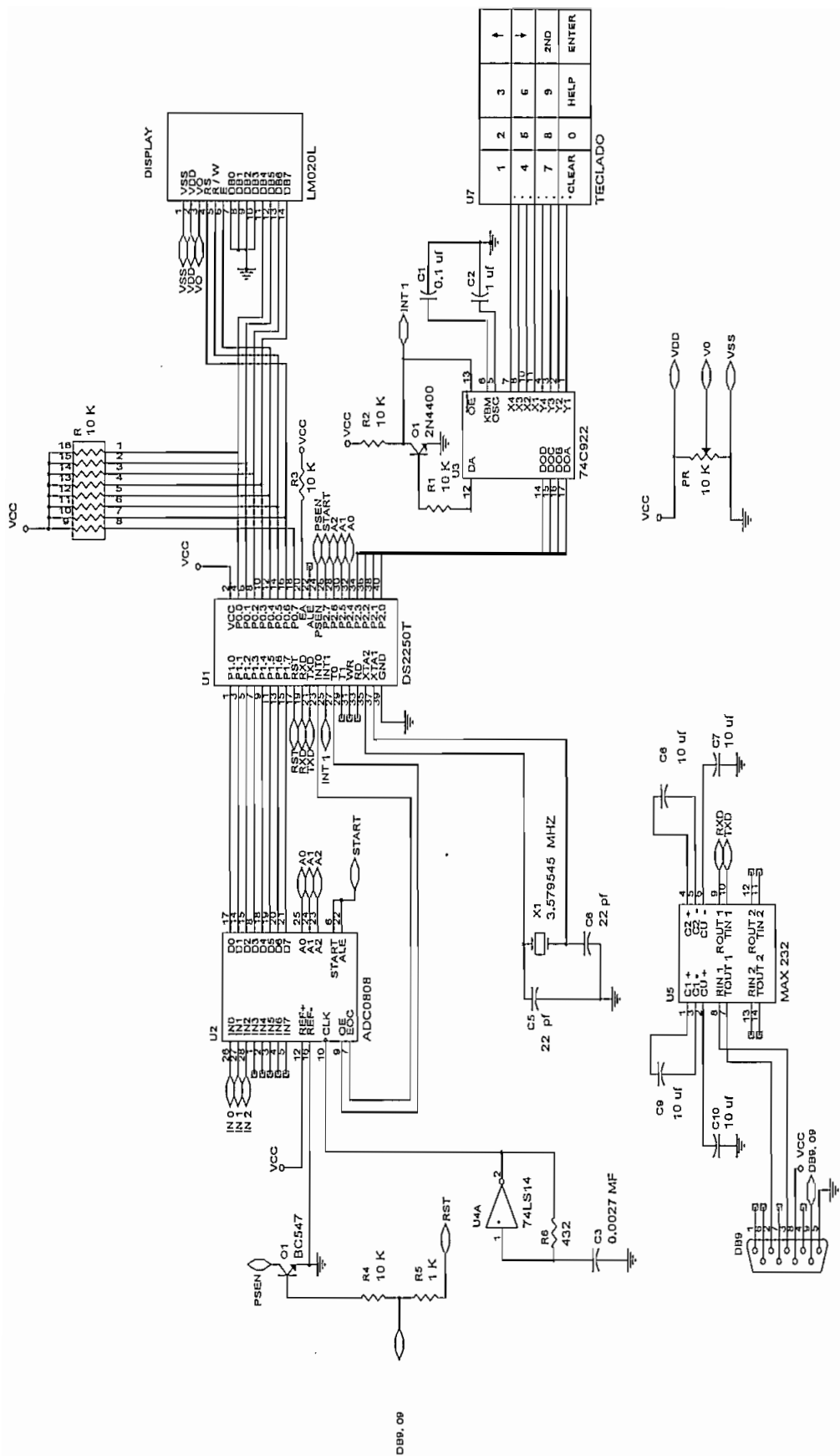


FIGURA 2.7 DALLAS SEMICONDUCTOR DS2250T

En el diagrama circuital de la figura 2.8, se puede observar las conexiones del microcontrolador DS2250T con sus periféricos, y de entre ellos se tiene que el transistor Q1, el cual trabaja en dos modos de operación, el primero en corte cuando se tienen que leer los datos almacenados a partir de la localidad 1800H y el segundo modo en saturación, para resetear al microcontrolador y dar la facilidad de programar el mismo.

En las líneas de salida del puerto P0 se ha colocado una resistencia de 10 KΩ como se observa en la figura 2.8, con el propósito de que no ocurra una degradación de los niveles lógicos del bus de datos y tenga la suficiente capacidad de corriente para poder manejar el circuito de display instalado a este pórtico; además, con la presencia de este pull\_up, se van a tener señales con flancos más verticales.



COMUNICACION

FIGURA 2.8 DIAGRAMA CIRCUITAL DEL MICROCONTROLADOR DS2250T Y SUS PERIFERICOS

## 2.2.4. El display.

La visualización de los valores ingresados a través del teclado, así como los resultados temperatura en °C, la humedad relativa en % RH y el monóxido de carbono en partes por millón (PPM) se lo hace a través del display de cristal líquido LM020L, que se utiliza para la presente aplicación; es un display de una fila y 16 caracteres por línea, incluye un controlador LSI HD44780 que permite operar con caracteres alfanuméricos de tipo ASCII, el mismo que dispone de las siguientes características:

- Interfasé con microprocesadores de 8 bit.
- RAM de datos para 80 caracteres.
- ROM, que genera 160 tipos diferentes de caracteres en matrices de 5x 7 puntos.
- RAM para generar 8 tipos diferentes de caracteres definidos por el usuario en matrices de 5x7 puntos.
- La memoria RAM de datos y la RAM para generar caracteres pueden ser accedidas por el microprocesador.
- Dispone de instrucciones como:
  - Limpiar el display.
  - Regresar el cursor al origen.
  - Encender o apagar el display.
  - Parpadeo de caracteres.

Para que el display pueda funcionar, es necesario que sea alimentado con una fuente de 5 Vdc, la forma de conexión entre el microcontrolador y el display se indica en la figura 2.8.

En la forma de trabajo que se ha determinado, se envía cada byte de datos desde el microcontrolador al display en dos paquetes de cuatro bits cada uno, debido a que se utiliza el mismo puerto de comunicación para enviar las señales de control, para el display.

En los anexos de la presente tesis se encuentra mayor información de las características técnicas, programación, etc., del display LM020L.

En lo que respecta a la programación desde el microcontrolador, el LCD (Display de Cuarzo Líquido) tiene dos registros de 8 bits, el primero se lo conoce con el nombre de Registro de Instrucciones (IR), y el segundo con el nombre de Registro de Datos(DR).

**El Registro de Instrucciones (IR)**, como su nombre lo indica, almacena códigos de instrucciones tales como: borrar el display, mover el cursor, etc., y también sirve para

direccionamiento de la RAM. El (IR) puede ser accesado por el microcontrolador solamente para escritura.

El **Registro de Datos (DR)**, en cambio, es utilizado para almacenar temporalmente los datos transferidos desde el microcontrolador. Cuando se realiza una escritura de datos LCD, los datos son inicialmente almacenados en el **DR**, y posteriormente serán escritos automáticamente en la RAM del display ó en la RAM generadora de caracteres (la RAM generadora de caracteres, es aquella que contiene los caracteres seleccionados específicamente desde la ROM del LCD y serán mostrados). El RD también es usado para almacenar temporalmente datos cuando realizamos lecturas desde la RAM del LCD ó desde la RAM generadora de caracteres.

Adicionalmente a estos registros, también el LCD dispone de varias señales que son introducidas desde algunos de sus pines y que se describen a continuación:

**Señal de Selección de Registro (RS).** - Esta señal debe ser monitoreada desde el microcontrolador, es de tipo INPUT, y permite seleccionar el trabajo con el **IR** o con el **DR**. Esta señal es ingresada por el pin 4 del LCD y puede tomar los valores de 0 ó 1 lógicos para seleccionar el IR ó el DR respectivamente.

**Señal de Selección para Lectura/Escritura (R/W).** - Igualmente esta señal es transferida desde el microcontrolador y es del tipo INPUT. Esta señal es ingresada por el pin 5 del LCD y puede tomar los valores de 0 ó 1 lógicos para seleccionar la Escritura ó la Lectura en el LCD de acuerdo a la operación que se este realizando en la RAM ó en la RAM generadora de caracteres.

**Señal de Habilitación de Operación (Lectura/Escritura de Datos (E)).** - Es una reconfirmación de la señal anterior, es decir que para proceder a la Lectura/Escritura se deberán seleccionar y habilitar las respectivas señales. Con 1 lógico se habilita y con 0 lógico se deshabilita. Esta señal es de tipo INPUT y será ingresada por el pin 6 del LCD.

(D4 – D7) Líneas más significativas del bus de datos.- Estas líneas son del tipo THREE STATE, bidireccionales (INPUT/OUTPUT), corresponden a los pines 11,12,13 y 14 del LCD, y su función es la de transferir datos entre el microcontrolador y el LCD.

(DO \_D3) líneas menos significativas del bus de datos.- Estas líneas son igualmente del tipo THREE STATE, bidireccionales (INPUT/OUTPUT), corresponden a los pines 7,8,9,10 del LCD, y su función es la de transferir datos entre el microcontrolador y el LCD. Es muy importante anotar también que estas líneas no serán utilizadas por cuanto para el presente prototipo se ha

escogido una interfase de 4 bits con el microcontrolador, es decir que para transferir 8 bits al LCD, se lo hace en dos transferencias de 4 bits cada una.

(VDD \_ VSS) Fuentes de voltaje.- VDD corresponde a 5 voltios, mientras que VSS corresponde a 0 Voltios. La alimentación es aplicada a los pines 2 y 1 del LCD respectivamente.

Voltaje para Ajuste del Contraste (Vo). - Este voltaje es aplicado al pin 3 del LCD, su rango está por los 0.6 voltios DC y su incremento o decremento provocará cambios en la gama del contraste.

En el prototipo se carga los datos en transferencias de 4 bits, de manera que sólo se utilizan 4 líneas THREE STATE, los caracteres a mostrarse serán seleccionados en base a los valores binarios de la tabla del anexo<sup>8</sup> al final de la presente tesis.

La parte concerniente a la programación del microcontrolador para operar con el LCD se trata más adelante, pero como requisito inicial será necesario elaborar subrutinas específicas para cada operación, es decir una subrutina para iniciar el display (inicio\_display), borrar el display (borrar\_display), otra para mostrar un dígito(saca\_display), otra para mostrar mensajes desde una tabla del microcontrolador (display), otra para movilizar el cursor, otra para activar o desactivar el cursor, etc.

La inicialización del display (inicio\_display) se encuentra desarrollada de acuerdo a las recomendaciones del fabricante, para una interfase de 4 bits de longitud<sup>9</sup> y una matriz de 5\* 7 puntos para cada carácter, por lo que para sacar los datos se utiliza la subrutina saca\_display programada para una interfase de 4 bits, por lo que se envía primero los 4 nibles menos significativos y luego los más significativos, de igual forma ajustando a las recomendaciones se programan para borrar el display (borrar\_display) y bajar las señales del control del mismo.

Para indicar los datos en el display se utiliza la subrutina display programada para el efecto, la misma que se encarga de poner las direcciones adecuadas de trabajo para el display, define la cantidad de caracteres que puede manejar en esta área, como se indicó anteriormente se trabaja con un display de 1 línea y 16 caracteres por lo que primero trabaja con la mitad y luego con lo restante hasta llegar a la máxima capacidad del display. Realiza el control del protocolo de comunicaciones con el display, envía el carácter al display, borra el carry para el control de salida y finalmente retorna a la subrutina invocante.

---

<sup>8</sup>HD44780 HITACHI PAGINA 268. parte 2.

<sup>9</sup>HD44780 HITACHI PAGINA 247. parte 2.

## 2.2.5. El teclado.

Para el diseño se ha utilizado el circuito decodificador MM74C922 el cual permite el manejo del teclado, para el ingreso de datos al sistema en general; este circuito se lo ha acoplado a los pines del pòrtico 2 (P<sub>2</sub>) como lo indica en la figura 2.9; cabe destacar que el circuito dispone de la eliminación de rebote de contacto, necesaria a fin evitar problemas en el funcionamiento.

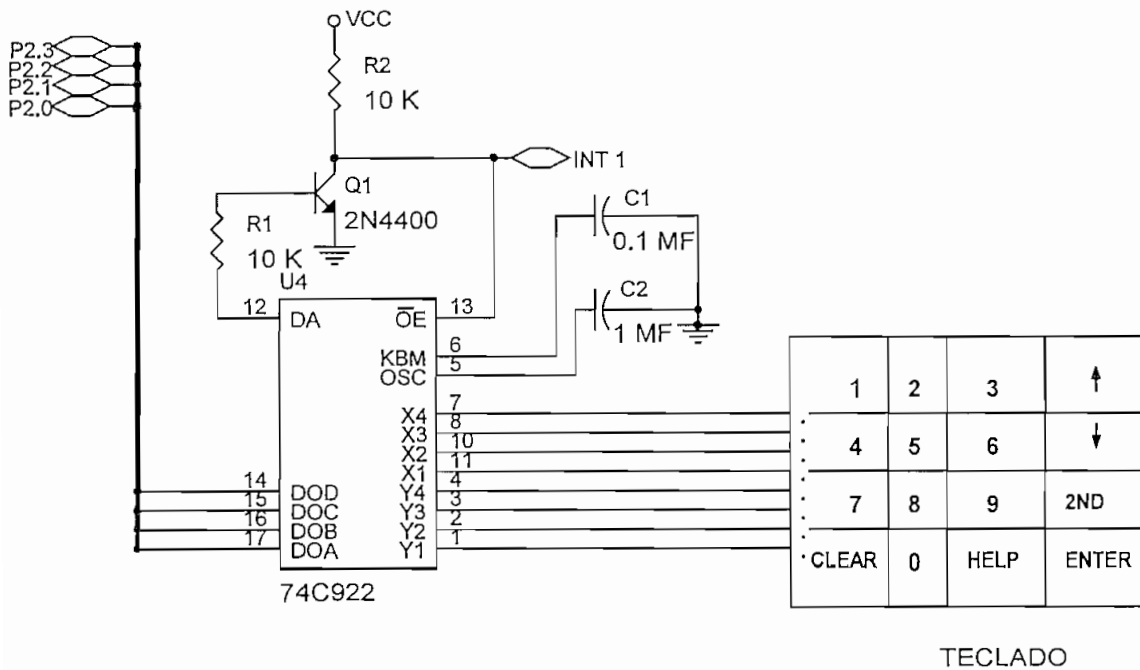


FIGURA 2.9 CIRCUITO DECODIFICADOR DEL TECLADO

El decodificador de teclado 74C922, provee toda la lógica necesaria para trabajar con un arreglo de teclado tipo matriz de 16 teclas como se indica en las figuras 2.8 y 2.9, en la salida del circuito, la misma que indica que se tiene información disponible(D1), se ha conectado un transistor (Q1), con el propósito de que mediante la operación en sus dos regiones de trabajo; esto es, corte y saturación se pueda generar una señal que el microcontrolador reconozca como interrupción y que se le ha aplicado al pin P3.3 que corresponde a la entrada de la interrupción externa 1 (INT1).

Cuando se ha presionado una tecla y se tienen las señales antes indicadas, se genera la interrupción la misma que al ser atendida permite el ingreso de los datos al microcontrolador; para el caso particular del prototipo las distintas teclas cumplen las siguientes funciones:



La tecla 1 presenta los valores de humedad.

La tecla 2 presenta los valores de temperatura.

La tecla 3 presenta los valores de monóxido de carbono.

La tecla 4 presenta los valores de los tres registros anteriores.

El decodificador MM74C922 envía códigos de acuerdo a la fila y columna correspondiente a la tecla presionada, entonces, en el microcontrolador y por programa se determina cual es la tecla y la función que debe realizar.

Para los valores de los capacitores utilizados en el decodificador de teclado MM74C922 se aplica el criterio que debe ser 10 veces mayor el capacitor que conecta al pin 6 (KBM) que el capacitor que conecta al pin 5 (OSC) como lo recomienda el fabricante, por lo tanto, aplicando esta definición se toma los valores de  $1\ \mu\text{f}$  y  $0.1\ \mu\text{f}$  respectivamente, ver figura 2.9.

En cuanto a la indicación del fabricante con respecto al inversor que controla los pines 13 y 12 respectivamente, se utiliza un arreglo con un transistor que cumple exactamente la misma función ponerse en corte y saturación, utilizando los niveles de voltaje de 0 y de +5 V. En términos lógicos, el inversor, proporciona una salida de un 1L de salida para un 0L de entrada, o viceversa. No se utilizó el inversor 74C04, porque no se requiere de altas velocidades en la decodificación del teclado pero al decidir trabajar con este, solo se utilizaría una compuerta inversora quedando el resto como recursos sin aplicación, ocupando espacio físico innecesario.

Para determinar el valor de las resistencias  $R_2$  y  $R_1$  de la figura 2.9 se utiliza el valor de corriente  $I = 0.55\text{mA}^{10}$ , utilizando las respectivas ecuaciones:

$$I_{cc} = \frac{V_{cc}}{R_2}$$

$$I_b = \frac{V_{cc} - V_{be}}{R_1}$$

Donde  $V_{cc} = 5$  voltios y la corriente  $I_{cc} = 0.55\ \text{mA}$  se tiene un valor de  $R_2 = 9090.99\ \Omega$ , por lo que se determina el valor existente en el mercado  $R_2 = 10\ \text{K}\Omega$ . De manera similar se realizan los cálculos para determinar el valor de  $R_1$ , considerándose que se va a tener un 0L con niveles de corriente que preste las facilidades necesarias para manejar los pines del decodificador y a la vez la INT1 del microcontrolador DS2250T cuando se lo requiera, es por eso que se trabaja con  $I_b = 0.55\ \text{mA}$ ,  $V_{be} = 0.7$  voltios, por lo que  $R_1 = 7818.8\ \Omega$ , pero el

valor más aproximado es entonces  $R_1 = 10 \text{ K}\Omega$ , finalmente recalculando quedarían las corrientes  $I_{cc}=0.5 \text{ mA}$  y  $I_b = 0.43 \text{ mA}$ , como se requiere para este tipo de trabajo.

## 2.2.6 El puerto de comunicación serial.

La utilización del p rtico serial en el diseño del prototipo, se fundamenta en la necesidad de transmitir toda la información almacenada en la memoria y datos de (temperatura, humedad, monóxido de carbono, fecha y hora) para ser descargada en un computador y poder procesarla y obtener los cuadros y gráficos requeridos.

Por facilidad de diseño del prototipo, el microcontrolador DS2250T posee un p rtico de comunicación serial que puede ser habilitado tanto para la recepción como para la transmisión de datos a través de los pines TXD y RXD, como se ilustra figura 2.10.

La transmisión de los datos registrados, ya mencionados anteriormente así como los datos adicionales que puedan generarse al ampliar las opciones del equipo, se gestionan con ayuda de la subrutina de servicio diseñada para ello, esta subrutina permite dicha transmisión, para luego en función de los datos obtenidos y con la aplicación de un programa desarrollado en un lenguaje de alto nivel y que se lo ejecuta en un computador se puede visualizar estos datos en forma de tablas y gráficos.

El puerto de comunicación presenta la alternativa de poder realizar la recepción RXD, ver figura 2.8, con el objetivo primordial de poder utilizar el mismo puerto para la programación del microcontrolador, optimizando grandemente recursos, espacio, tiempo y facilitando de esta manera la programación del microcontrolador y que la misma pueda ser cambiada cuantas veces sean necesarias; para el efecto se ha diseñado un cable, el cual presenta las dos alternativas descritas es decir, para programar cuando el interruptor esta en la posición P y para la transmisión de datos en la otra posición.

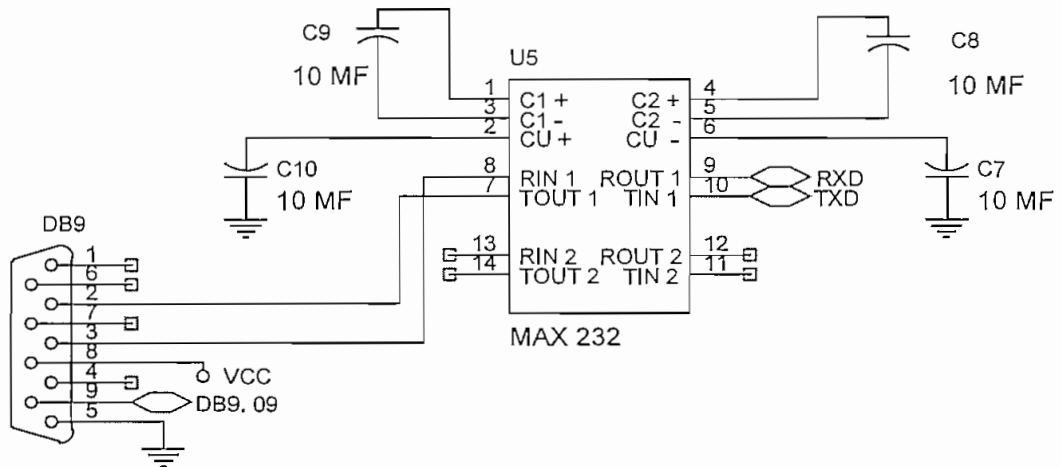
En la figura 2.10, se puede observar que el p rtico serial se completa con el circuito integrado MAX232, el mismo que transforma los niveles TTL provenientes del p rtico serial del microcontrolador a niveles de la norma RS - 232C, a fin de que las señales sean adecuadamente interpretadas por el p rtico serial del computador.

En la figura 2.10 se presenta el esquema de las conexiones, similares a las que puede observarse en la figura 2.8, donde los condensadores  $C_7$ ,  $C_8$ ,  $C_9$  y  $C_{10}$  tienen un valor de  $10 \mu\text{f}$  c/u, que es el valor recomendado por el fabricante cuyas funciones se detallan a continuación: el capacitor  $C_9$  se usa para doblar el voltaje de  $+5 \text{ V}$  a  $+10\text{V}$ , de los  $+10 \text{ V}$  se

---

<sup>10</sup> Valor t pico cuando  $V_{cc}=5$  y  $Osc$  a  $0\text{V}$  en MM74C922

dispone en  $V^+$  a la salida del filtro capacitor  $C_{10}$ . El segundo cargador de voltaje se consigue con el capacitor  $C_8$  para invertir  $+10V$  a  $-10V$ , los  $-10V$  están disponibles en  $V^-$  a la salida del filtro capacitor  $C_7$ .



## COMUNICACION

FIGURA 2.10 CIRCUITO PORTICO SERIAL

En el anexo a la presente tesis se encuentra mayor información en cuanto a las especificaciones, características técnicas, etc., del circuito MAX232 y que son dadas por el fabricante.

## 2.3 CONSTRUCCION DEL PROTOTIPO.

El chasis del equipo está construido en un caja metálica de tol laminado con acabado de pintura anticorrosiva de color almendra, cuya forma y dimensiones se indican en la figura 2.11, en el interior de esta caja se ha ubicado toda la circuitería necesaria para el funcionamiento, del equipo mientras que en la parte exterior se encuentran todos los dispositivos de señalización; así como también los sensores que son utilizados en esta aplicación; esto es, el sensor de temperatura, de humedad, de monóxido de carbono y el puerto de entrada al convertor analógico – digital; para futuras ampliaciones, si se desea se pueden agregar otros sensores al equipo.

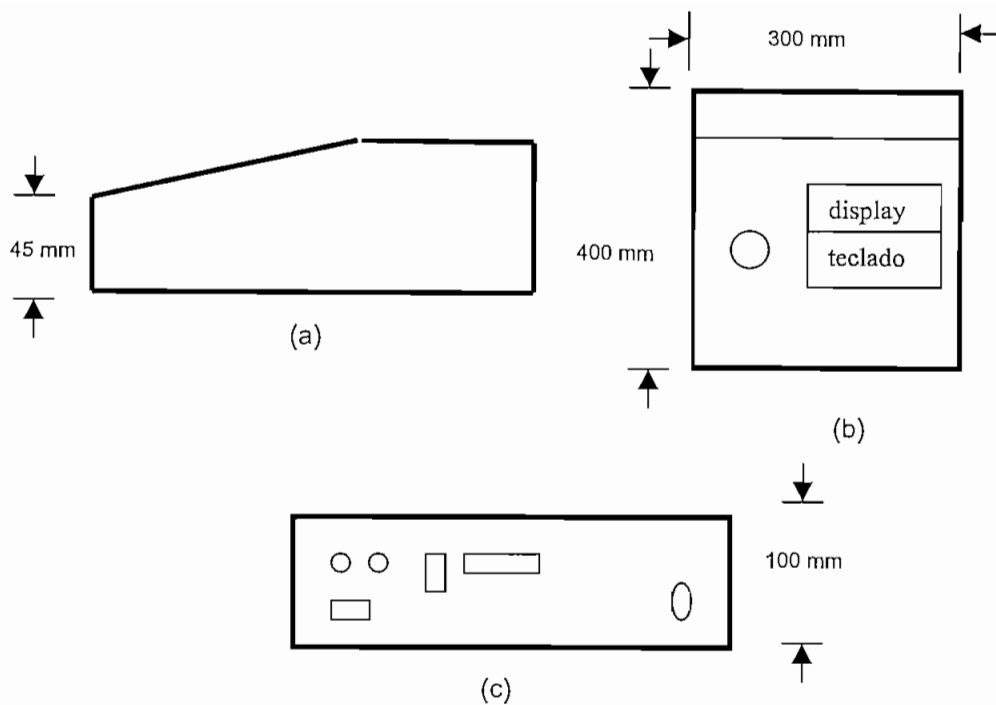


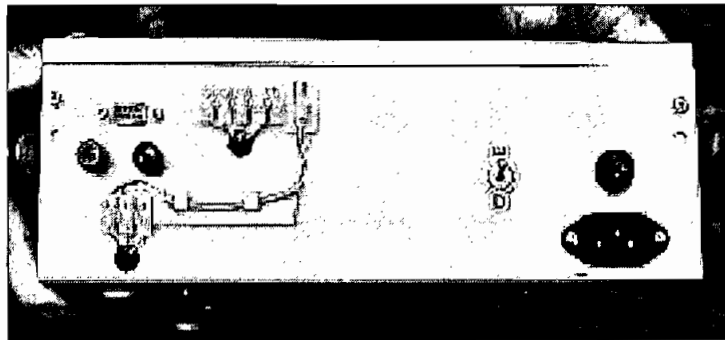
FIGURA 2.11 CAJA PARA LA CONSTRUCCION DEL PROTOTIPO

En la figura 2.11, se tiene a) Vista lateral b) Vista frontal donde se puede observar la ubicación del teclado, display y el ventilador protegido con una rejilla c). Vista posterior, contiene dos bananas hembras, el color negro para la referencia común y rojo entrada del sensor de Humedad, conector DB9, sensor de temperatura, zócalos para futuros sensores y swich de encendido y apagado.

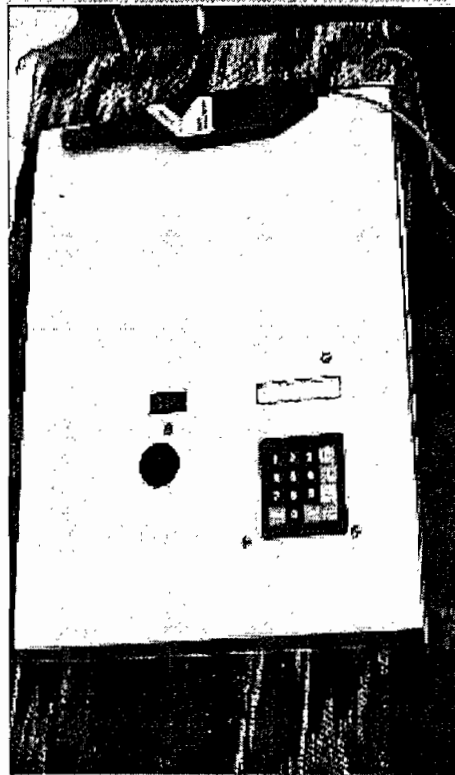
Con el propósito de obtener resultados parciales y seguros, se optó por realizar la construcción del prototipo por etapas, de esta manera se puede realizar las correcciones adecuadas y detectar más rápidamente los errores que puedan presentarse.

Una vez superados todos los problemas en las distintas etapas y obteniéndose un correcto funcionamiento de cada una de ellas, se procedió con el ensamblaje de todas las partes de manera que funcionen simultáneamente y en conjunto.

En la figura 2.12 se presentan las fotografías del equipo diseñado y construido, donde se puede observar las mismas vistas señaladas en la figura 2.11.



A) VISTA POSTERIOR



B) VISTA FRONTAL

FIGURA 2.12 FOTOS DEL PROTOTIPO

### 2.3.1 Distribución de las tarjetas construidas.

Las tarjetas utilizadas en la construcción del prototipo fueron diseñadas en el programa CAPTURE V.7 para Windows95 y superiores de ORCAD, tanto en lo que corresponde al diagrama eléctrico, como después el esquemático para la fabricación del circuito impreso.

En el interior de la caja se hallan distribuidas; la fuente y sus protecciones, los amplificadores de sensores, la tarjeta de control utilizada por el microcontrolador DS2250T, la tarjeta de

control del sensor de monóxido de carbono, un ventilador para ingreso de aire, y el teclado. En la figura 2.13 se indica la distribución de cada una de ellas en el chasis.

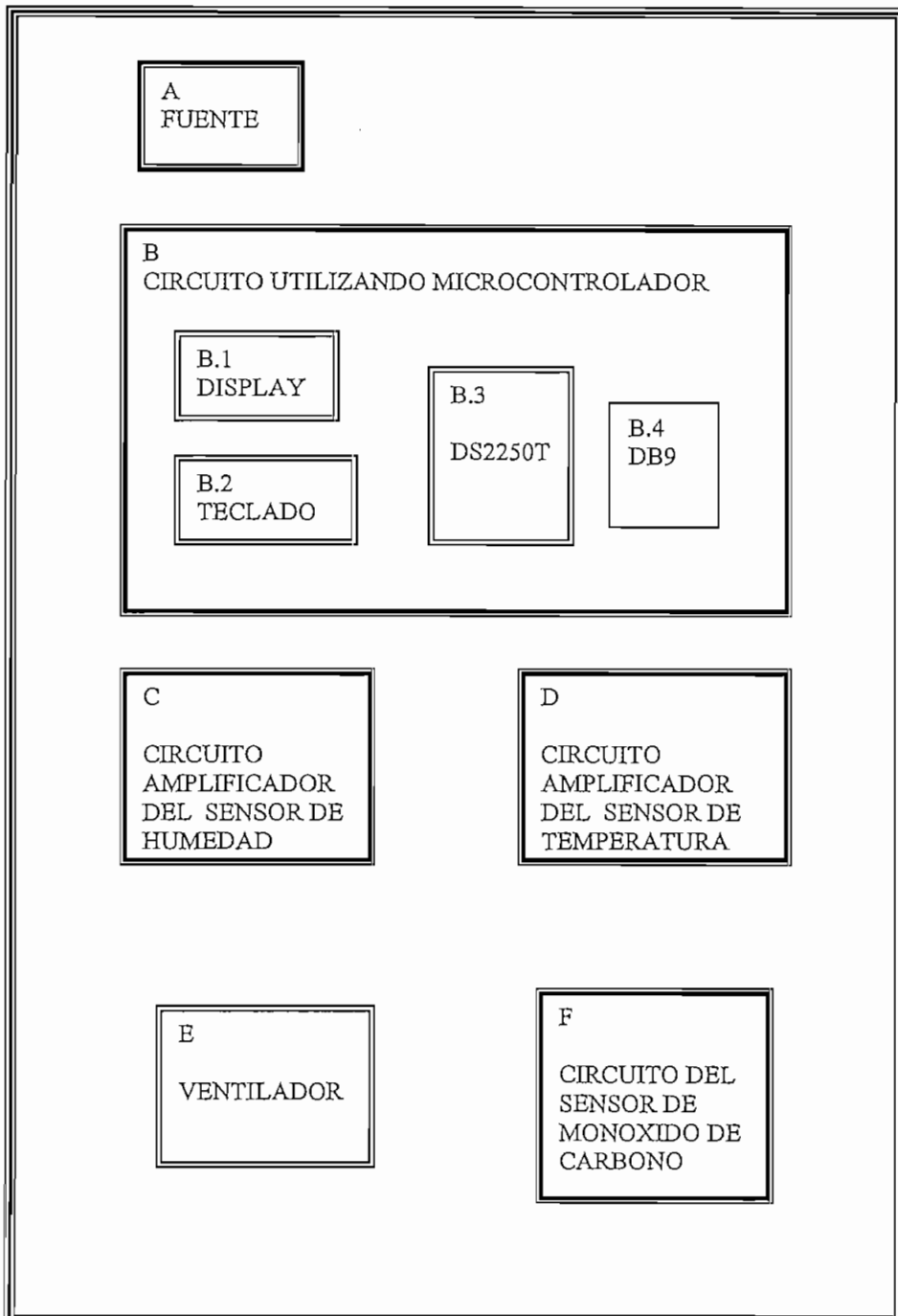


FIGURA 2.13 DIAGRAMAS DE LAS PARTES DEL PROTOTIPO

## **A. FUENTE.**

Este dispositivo es de tipo comercial y se lo adquirió por razones técnicas, las mismas que están sustentadas en las alternativas de uso, esto es, en un amplio rango respecto a las variaciones de voltaje de entrada, lo cual permite tener una alta confiabilidad para la aplicación que se da al prototipo. Es la encargada de energizar todas las tarjetas y componentes del circuito. Sus características técnicas se presentan en el capítulo uno.

## **B. CIRCUITO UTILIZANDO EL MICROCONTROLADOR.**

Esta tarjeta se la desarrolló en particular para el sistema de esta aplicación, utilizando toda la circuitería necesaria para el funcionamiento adecuado del microcontrolador DS2250T, misma que contiene interfaces para enviar y recibir datos a través de los respectivos conversores.

### **B.1 Display.**

En el prototipo como se explicó se incluye un control de contraste, el mismo que permite regular la intensidad del display en gamas que van desde lo intenso hasta lo opaco, gracias a un potenciómetro conectado al circuito de ajuste del contraste, como se indica en la figura 2.8.

Es un display de LCD de cristal líquido de una línea y 16 caracteres por fila, en donde se indican los valores de: temperatura, humedad, monóxido de carbono, fecha y hora.

### **B.2 Teclado.**

Esta tarjeta contiene el sistema de decodificación en base al circuito 74C922 para manejo del teclado y de esta manera permitir que se pueda ingresar datos al microcontrolador, dando la opción de tener niveles de seguridad como por ejemplo: la clave, el intervalo de tiempo para la toma de muestras y datos de los registros.

### **B.3 Microcontrolador DS2250T.**

Es el microcontrolador que tiene, las facilidades de tener integrados el reloj y el calendario en tiempo real, alimentados por una batería de 3.3 Vdc y pueden ser habilitados por programación.

Este modulo esta compuesto por un DS5000, una memoria de NVRAM de 32 Kbyte y una batería de alimentación, esta tarjeta tiene interfaces de fácil operación entre pórnicos, direccionamiento externo, buses de salida, etc. Las características se encuentran en el anexo al final de la presente tesis.

#### **B.4 Conector DB 9.**

Con la finalidad de poder establecer una comunicación a través del puerto serial se hizo necesario, diseñar esta etapa utilizando el circuito MAX 232 y como salida el conector DB9, permitiendo de esta forma la transmisión/recepción de información entre un computador y el prototipo.

#### **C. CIRCUITO AMPLIFICADOR DEL SENSOR DE HUMEDAD.**

Permite que la señal proveniente del sensor de humedad **MultiMeterMate`s** sea amplificada, puesto que viene en orden de los milivoltios en cada medida, hasta los voltios, de manera que permita ser digitalizado adecuadamente por el conversor ADC0808. El diagrama circuital con los elementos utilizados se observa en la figura 2.1. y la fotografía en la figura 2.14.

#### **D. CIRCUITO AMPLIFICADOR DEL SENSOR DE TEMPERATURA.**

Es un circuito en el cual se utiliza el sensor de temperatura LM-335 y la circuiteria adicional para medir la temperatura en el medio ambiente, el mismo que da señales de salida de 10 mV/ ° C, razón por la cual se necesita de un circuito amplificador diferencial, para poder tener las señales de voltajes adecuadas y ser digitalizados de esta manera por el conversor AD0808. El diagrama circuital con los elementos utilizados se observa en las figuras 2.2 y 2.3 respectivamente y la fotografía en la figura 2.14.

#### **E. VENTILADOR.**

La función de este dispositivo no es más que la de mantener un colchón de aire entre los diferentes componentes del prototipo y como alternativa para absorber el aire del medio ambiente facilitando de esta forma la mejor lectura del sensor de monóxido de carbono, al disponer de aire que se encuentra cambiando y de esta manera se evita la saturación del sensor.

#### **F. CIRCUITO DEL SENSOR DE MONOXIDO DE CARBONO.**

Es el circuito encargado de enviar señales de voltaje como resultado de la cantidad de monóxido de carbono existente en el aire y que es ocasionado por la contaminación por escapes debido a la presencia de gases combustibles y otros.

El sensor de monóxido de carbono que se pudo adquirir, incluye el circuito de procesamiento, el mismo que entrega en su salida una señal de voltaje en el rango de 0 a 5 Vdc, proporcional



al grado de contaminación existente en el aire y toda vez que se dispone de una señal en el rango que acepta el circuito de conversión, se le aplicó en forma directa, para su conversión a digital.

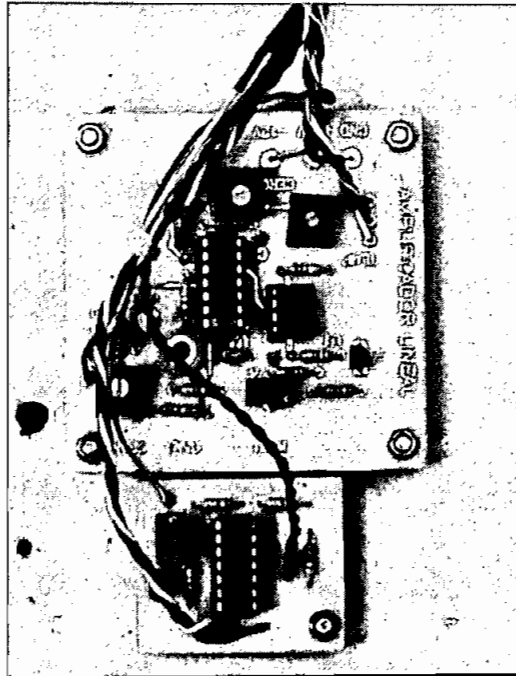


FIGURA 2.14 FOTOGRAFIA DE LOS CIRCUITOS DE AMPLIFICACION DE TEMPERATURA Y HUMEDAD.

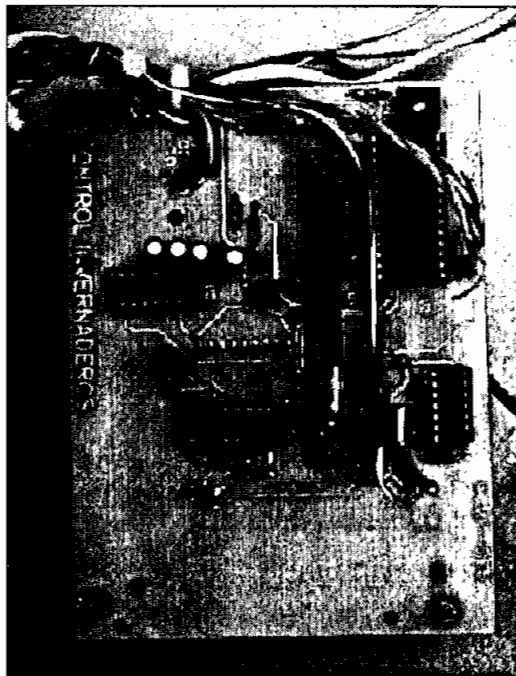


FIGURA 2.15 FOTOGRAFIA DEL CIRCUITO DE CONTROL CON EL MICROCONTROLADOR

### 2.3.2 Ensamblaje final.

Una vez descritos todos los procedimientos de diseño en los subcapítulos anteriores, como también la distribución interna y características de las tarjetas, construidas para disponer de las etapas necesarias para el funcionamiento del prototipo del sistema de registro de contaminación del aire por escapes, a continuación en la figura 2.16, se presenta la fotografía del equipo diseñado y construido, donde se puede observar de mejor forma la parte interna con el ensamblaje final realizado.

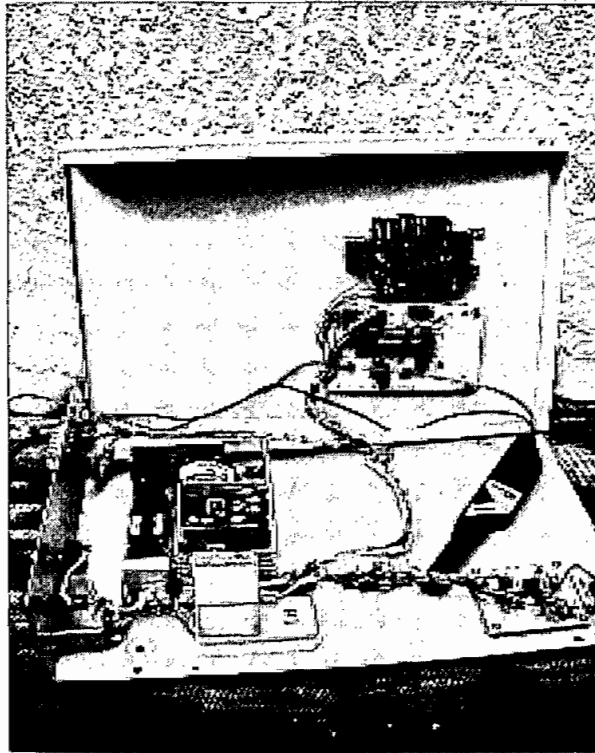


FIGURA 2.16 FOTOGRAFIA DEL ENSAMBLAJE FINAL

## **CAPITULO III**

PROGRAMAS DE CONTROL DEL  
MICROCONTROLADOR Y DEL PC

## **CONTENIDO CAPITULO III**

- 3.1. PROGRAMACION DEL MICROCONTROLADOR**
- 3.2. DIAGRAMAS DE FLUJO DEL PROGRAMA PRINCIPAL Y SUBRUTINAS**
- 3.3. COMUNICACION ENTRE EL PROTOTIPO DE REGISTRO Y EL PC**
- 3.4. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA DE PROCESAMIENTO EN EL COMPUTADOR**

### **3.1. PROGRAMACION DEL MICROCONTROLADOR.**

Como ya se indicó, el programa a ser desarrollado para el microcontrolador DS2250T debe a más de realizar el control del equipo propiamente dicho, manejar los periféricos de entrada de datos como teclado y conversor A/D, enviar los datos al display de cristal líquido (LCD), y el control de la interface RS-232C. El programa para el DS2250T consta de varias subrutinas que son llamadas desde el programa principal. A continuación, se explica, mediante el uso de los diagramas de flujo, el funcionamiento de las partes principales del programa, como son: programa principal, lectura de datos desde el teclado, lectura de datos desde el conversor A/D, envío de datos al display y la comunicación serial.

Antes del inicio del programa se asignan los nombres a diferentes localidades de memoria para facilitar el desarrollo de las diferentes subrutinas.

### **3.2 DIAGRAMAS DE FLUJO DEL PROGRAMA PRINCIPAL Y SUBRUTINAS.**

El programa principal constituye, la base del sistema de control con el microprocesador, es el núcleo del sistema y ha sido diseñado para un fácil entendimiento; utilizando únicamente el llamado a las subrutinas, para que estas sean ejecutadas secuencialmente, como se indica en el diagrama de flujo de la figura 3.1.

Previo a las instrucciones del programa se definen las etiquetas, las cuales constituyen una excelente ayuda para poder programar y para la comprensión posterior del mismo.

En los siguientes párrafos se da una breve explicación de cómo se han aprovechado los distintos terminales del microcontrolador, para una mejor comprensión del desarrollo del programa.

Después de estas definiciones importantes al inicio, se hace necesario definir todas las variables y registros de operación como son equivalencias del teclado, áreas de definiciones de las constantes (MCON, TA, stack, número de caracteres de control del display), las direcciones de origen; que permiten indicar el inicio del programa y finalmente el bloque de interrupciones generales para: lectura del conversor, lectura del teclado y la comunicación serial.

El puerto0 (P<sub>0</sub>), trabaja en el control de funcionamiento del display LM0202L y a través del mismo se realiza todo el proceso de inicialización, borrado y presentación de todos los datos de mensajes fijos, fecha, hora y el valor del registro o registros que se tomen como medida.

El puerto1 (P<sub>1</sub>), se obtienen los datos resultantes del convertor analógico-digital ADC0808, los mismos que son comparados con sus equivalentes en sus respectivas subrutinas o tablas.

El puerto2 (P<sub>2</sub>), desde P<sub>2,4</sub> hasta P<sub>2,7</sub> define el manejo del control de las entradas y el Start del convertor, mientras que el resto de los bits disponibles del puerto2 (P<sub>2</sub>), se utiliza para recoger información del decodificador del teclado.

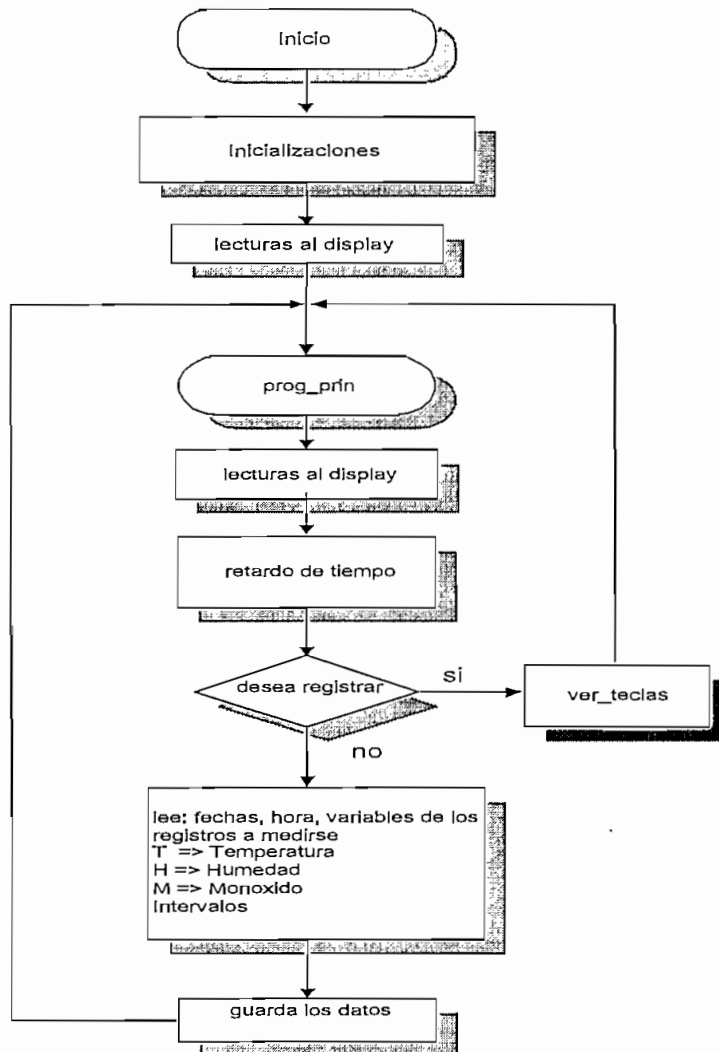


FIGURA 3.1 DIAGRAMA DE FLUJO PRINCIPAL

El terminal de entrada (T<sub>0</sub>), se la usa para habilitar las salidas del convertor.

La interrupción externa cero (INT0), se la utiliza para indicar el fin de la conversión.

La interrupción externa uno (INT1), se la utiliza para indicar el fin de la decodificación del teclado.

Al inicio, el programa principal llama a la rutina, inicio\_display, que se encarga del encendido e inicialización del display de cristal líquido. Luego con el llamado a la subrutina titulos\_inicio se presenta en el display lo siguiente:





E. P. N.  
ING. ELECTRICA  
TESIS DE GRADO  
AUSPICIO  
P-BID-081

A continuación se limpia el display mediante el uso de la subrutina borrar\_display; y se llama a la subrutina titulos\_rut que es la encargada de indicar en el display de cristal líquido el mensaje:

E.M.C.A.<sup>1</sup>  
M. CHISAGUANO. A.  
TRABAJANDO OK.  
FECHA Y HORA  
VALOR DEL REGISTRO  
INTERVALO.

De esta forma, siempre en el display se va encontrar las lecturas de la subrutina titulos\_rut hasta cuando se decida cambiar los valores de los datos a registrarse.

Para esto existe la subrutina ver\_teclas que tiene como función la de permitir escoger solo la variable a medirse o todas y como nivel de seguridad importante, es la clave **2ND <123> ENTER**, para poder ingresar a tomar una decisión acerca de la variable que se requiere registrar, es decir:

-  - "T". Para solamente registrar la temperatura.
-  - "H". Para solamente registrar la humedad.
-  - "M". Para solamente registrar el monóxido de carbono.
-  - "F". Para registrar todas las anteriores.

---

<sup>1</sup> Equipo de Monitoreo de Contaminación del Aire.

Luego de haberse tomado la decisión de cualquiera de las anteriores se presenta la última consulta que se refiere al intervalo en el cual se deben tomar los datos pudiendo ser estos desde 01 minutos a 99 minutos.

Terminado la secuencia de la subrutina `ver_teclas` se regresa inmediatamente al `prog_principal` como se puede apreciar en la figura 3.1.

Cuando no se ha decidido que variables se va a registrar, el `prog_principal` sigue la secuencia establecida en el diagrama de flujo, sin alterar las últimas decisiones tomadas.

Finalmente, en el diagrama de flujo se tiene una subrutina `lee_guardar`, la misma que se encarga de guardar los datos obtenidos del conversor dependiendo del registro seleccionado anteriormente, se guarda a partir de la localidad 1800h hasta 7FXXh de la NVRAM.

### 3.2.1 Subrutina `ver_teclas`.

Los datos de la clave, la selección de temperatura, humedad, monóxido de carbono e intervalo de toma de medidas son ingresados desde el teclado, a través de un decodificador que tiene la propiedad de generar una señal de interrupción, lo que permite que el microcontrolador atienda a la misma.

Una vez que se ha generado, la interrupción uno (INT1), el microcontrolador pasa a atender la misma y cumple las tareas que se ilustran en la figura 3.2

El decodificador de teclado 74C922, envía códigos de acuerdo a la fila y la columna correspondiente a la tecla presionada; entonces, en el programa de control se realiza una codificación de las teclas, a cuyo efecto se aprovecha el uso de tablas.

Como puede observarse en la figura 3.2, al dar servicio a la rutina de interrupción, lo primero que ocurre es que el equipo va a esperar el ingreso de la clave; se consideró conveniente el ingreso por medio de una clave, como un medio de seguridad, toda vez que el equipo está destinado a operar en el campo. Una vez que se ha pasado la clave, la alternativa de escoger las teclas se indica a continuación:

La tecla **enter** si se requiere registrar cualquiera de las posibilidades anteriormente explicadas (temperatura, humedad, monóxido de carbono o todas), define el intervalo y regresa al programa principal.



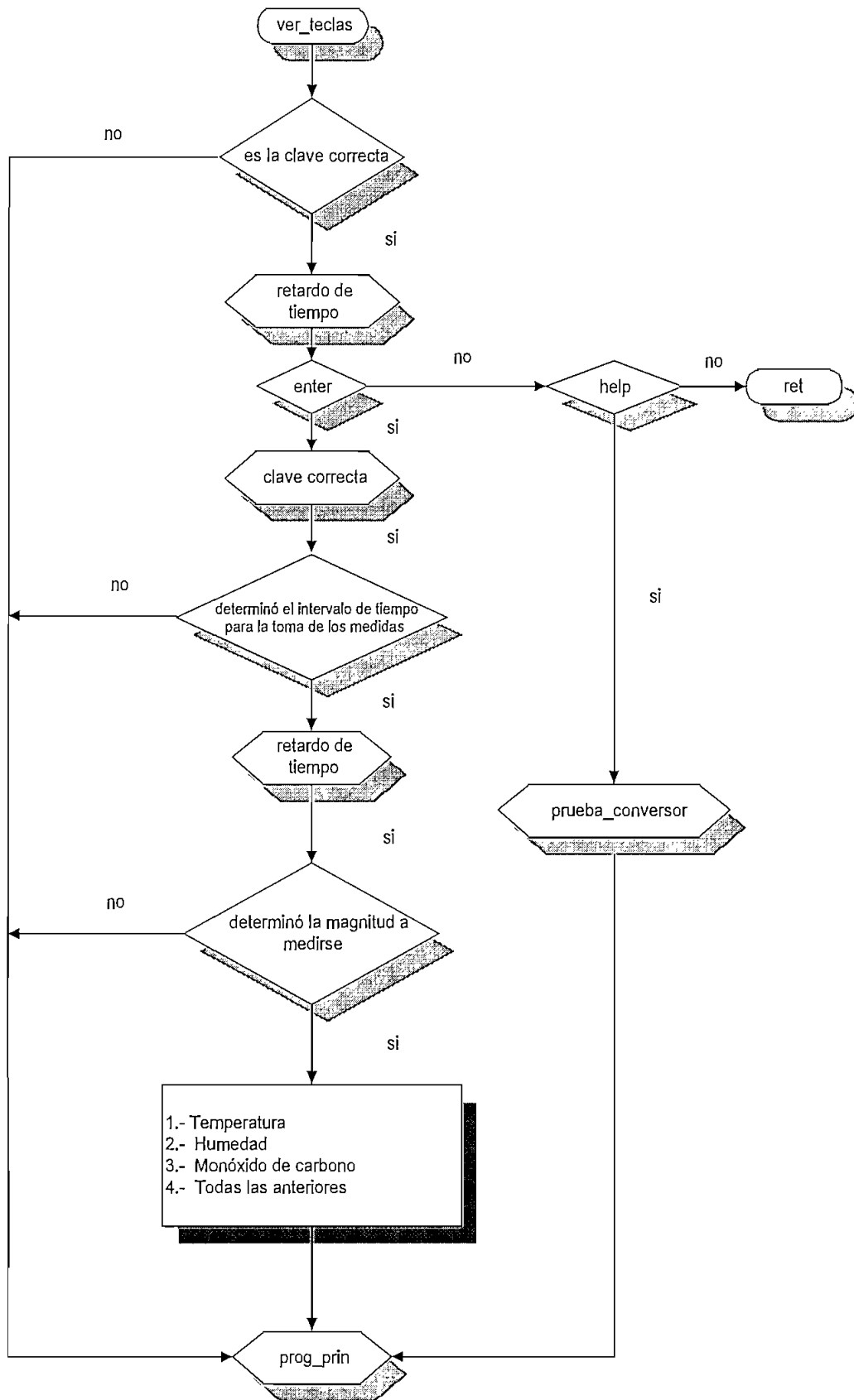


FIGURA 3.2 SUBROUTINA VER\_TECLAS

La tecla `help` permite ver la entrada  $I_N$  del conversor, con la finalidad de saber si se encuentra trabajando adecuadamente el mismo, para lo cual también se crea una subrutina `prueba_conversor` la misma que llama a la subrutina `leer_conversor`, y poder determinar que número de entrada en particular se desea ver en el display, transcurrido un retardo de tiempo se regresa a la secuencia del programa principal.

Esta subrutina es la más importante; permite elegir la variable a registrarse, solo temperatura, humedad, monóxido de carbono o las tres, al definir cualquiera de las opciones descritas anteriormente implica que cada alternativa tiene una cadena de subrutinas, que facilitan de esta manera la elección en un solo número.

Esta subrutina trabaja en función de comparaciones tanto para la clave de ingreso como para las otras opciones de decisión, y siempre toma como referencia a un número de tal manera, que si no es correcto, está siempre regresará al programa principal y continuará con la secuencia establecida y que se puede observar en la figura 3.2

Las equivalencias del teclado son las siguientes:

uno	equ	00H
dos	equ	01H
tres	equ	03H
sube	equ	02H
cuatro	equ	04H
cinco	equ	05H
seis	equ	07H
baja	equ	06H
siete	equ	08H
ocho	equ	09H
nueve	equ	0BH
s2nd	equ	0AH
clear	equ	0CH
cero	equ	0DH
help	equ	0FH
enter	equ	0EH

### 3.2.2 Subrutina `lee_conversor`.

Esta subrutina es la encargada de hacer la conversión, de los datos analógicos que se reciben en las entradas del circuito conversor de analógico a digital:  $I_{N0}$  temperatura,  $I_{N1}$  Humedad,  $I_{N2}$  monóxido de carbono quedando libres el resto de entradas para futuras aplicaciones.

El diagrama de flujo de la subrutina `leer_conversor` se indica en la figura 3.3

Como se observa en el diagrama de flujo al momento de llamar a esta subrutina se tiene que hacer una comparación para determinar cual de las entradas se pide para posteriormente continuar con el proceso de conversión siempre y cuando se haya pedido entradas que vayan desde  $I_{N0}$  hasta  $I_{N7}$  (ocho entradas en total), las mismas que están definidas en la subrutina leer\_teclas que ya fue explicada.

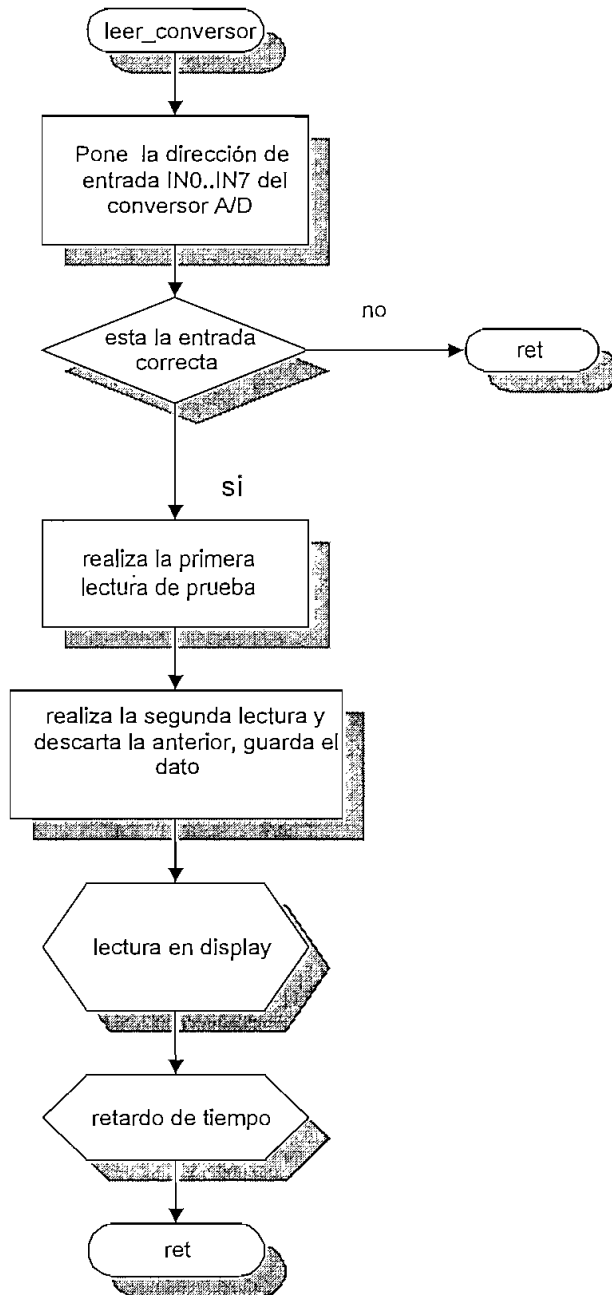


FIGURA 3.3 SUBROUTINA LEER\_CONVERTOR

Por lo tanto al pulsar la tecla cero se habilita la entrada  $I_{N0}$  del conversor ADC 0808 y de forma similar con el resto, porque previamente se encuentran direccionadas las entradas del conversor en esta subrutina. Esto es, los bits  $P_{2.4}$ ,  $P_{2.5}$ ,  $P_{2.6}$  del puerto2 ( $P_2$ ) del microcontrolador son los encargados de definir las señales  $add\_0$ ,  $add\_1$ ,  $add\_2$  ( $add\_A$ ,  $add\_B$ ,  $add\_C$ ) del conversor ADC0808, si se da el caso de ser un número diferente de las entradas programadas, la subrutina regresa de inmediato al programa principal.

Por seguridad de la lectura de los datos se realizan dos intentos, el primero es solamente de prueba, luego descarta el primero y queda como válido el segundo. Para dar inicio a la lectura del conversor el bit  $P_{2.7}$  da un pulso al pin ALE/START del conversor con esto selecciona el canal y da inicio a la conversión, luego se habilita la interrupción externa cero (INT0) y espera a que EOC del conversor emita una señal indicando que es el fin de la conversión, se deshabilita la interrupción cero y se habilita EO del conversor por orden de  $P_{3.4}$  del microcontrolador para recoger los datos digitales a través del puerto P1 ( $datos\_conv$ ), inmediatamente después se guardan estos datos en el puntero  $datos\_analogo$  (localidad 40h), deshabilita  $P_{3.4}$  y finaliza la conversión.

Con los datos resultantes de la conversión se realiza un proceso para poder presentar este valor equivalente en el display, luego se genera un retardo y se termina el funcionamiento de esta subrutina.

### 3.2.3 Subrutina lee\_guardar.

La subrutina  $lee\_guardar$  trabaja con los resultados obtenidos de la subrutina  $leer\_conversor$ , actualizando los punteros DPTR en las direcciones de la NVRAN, para lo cual se utilizan dos punteros el uno es el  $direcc\_low$  que se inicia en la localidad 1805H y el otro es el  $direcc\_hig$  en la 1806H, luego los datos se guardan de la siguiente forma: "T" temperatura, "H" humedad, "M" monóxido, el año, el mes, el día, la hora, los minutos, y el valor del dato ( $dato\_analogo$ ), como se puede observar en el diagrama de flujo de la figura 3.4.

Al guardar los datos es necesario tomar control del fin de datos, por lo que inmediatamente después del valor del dato ( $dato\_analogo$ ) se guarda una "Z" que permite indicar el fin del archivo de datos.

Luego se actualizan nuevamente los punteros descritos, para continuar con el proceso.

Esta subrutina permite continuar almacenando los datos y cuando se llene el espacio disponible en la memoria aparecerá un mensaje que indica " **Memoria llena**", en esta situación es necesario descargar los datos de la memoria, para poder tomar nuevamente

los valores de los registros que se deseen. La comparación para determinar si la memoria está llena se lo hace, entre la dirección 7FXXH y el puntero direcc\_hig. Cuando se ha llenado la memoria, el equipo sigue trabajando, pero no es posible guardar datos.

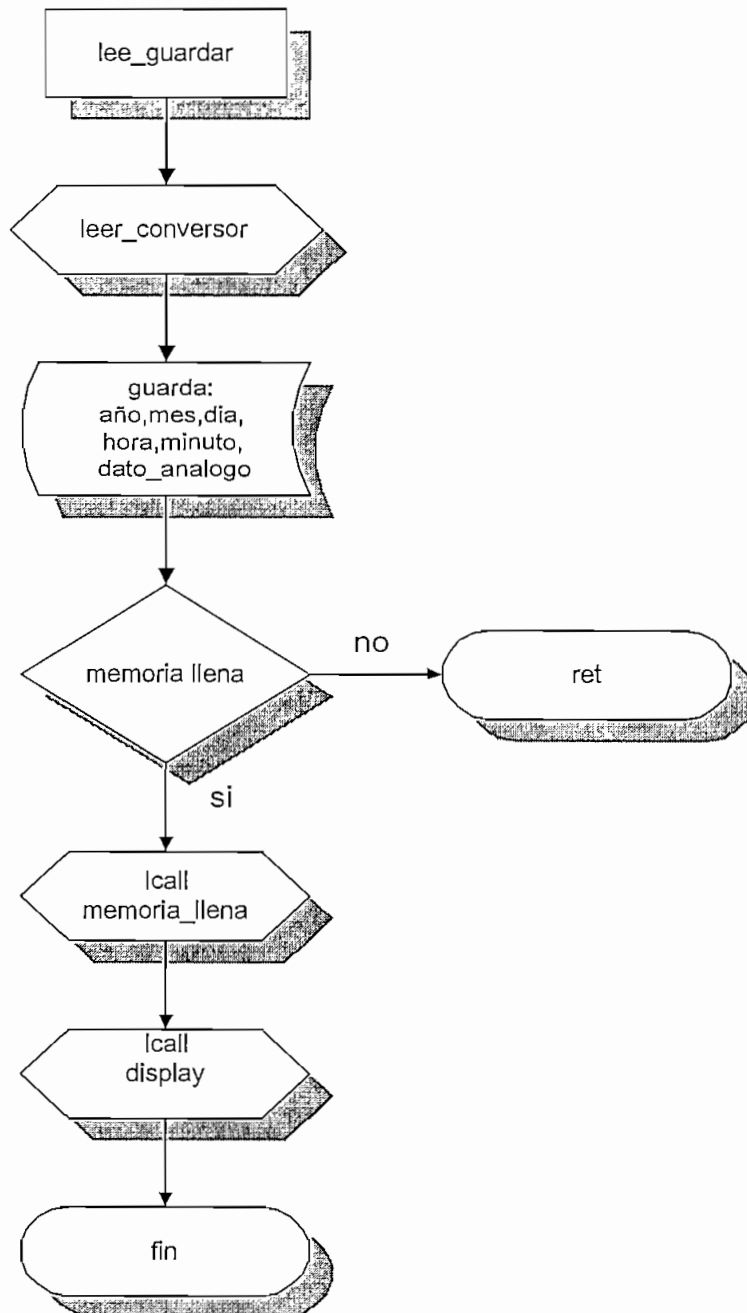


FIGURA 3.4 SUBRUTINA LEE\_GUARDAR

### 3.2.4 Subrutina inicio\_display.

Esta subrutina inicializa el display, de acuerdo a las referencias técnicas del fabricante del mismo como puede verse en las hojas de datos que se incluyen en los anexos.

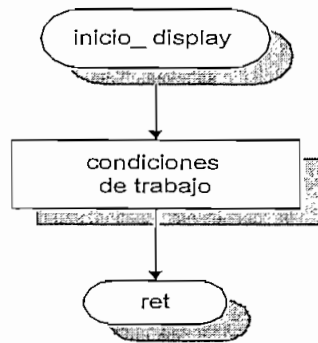


FIGURA 3.5 SUBROUTINA INICIO\_DISPLAY

En esta subrutina el trabajo del display se lo determina para una línea con una matriz de 5\*7 y no se muestra el cursor; el diagrama de flujo es el que muestra en la figura 3.5.

### 3.2.5 Subrutina com\_serial.

Esta subrutina tiene como propósito establecer la comunicación entre el prototipo y el computador, para este fin se ha desarrollado la subrutina com\_serial que se indica en la figura 3.6.

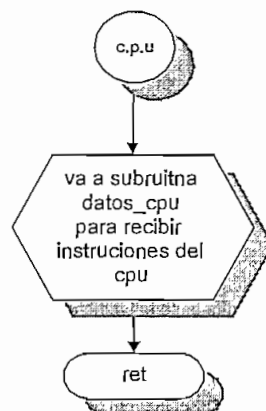


FIGURA 3.6 SUBROUTINA COM\_SERIAL

Los parámetros de comunicación para habilitar el puerto serial fueron determinados antes del inicio del programa principal (prog\_prin), por lo que, para generar la velocidad de comunicación se inicializa el puerto serial como un UART de 8 bits. A una velocidad variable utilizándose el timer1 en modo 2 (autorecarga de 8 bits) definiéndose el trabajo a una velocidad de 2400 bps, 8 bits de longitud, no-paridad y un bit de parada, y para esto se ha utilizado un oscilador de cristal de 3.579545 Mhz.

### 3.2.6 Subrutina datos\_cpu.

Esta subrutina tiene como función igualar el reloj calendario, leer los datos almacenados en la NVRAM y finalmente borrar los datos que fueron guardados a partir de la localidad 1810 H de la memoria NVRAM.

El diagrama de flujo de la subrutina datos\_cpu se indica en la figura 3.7

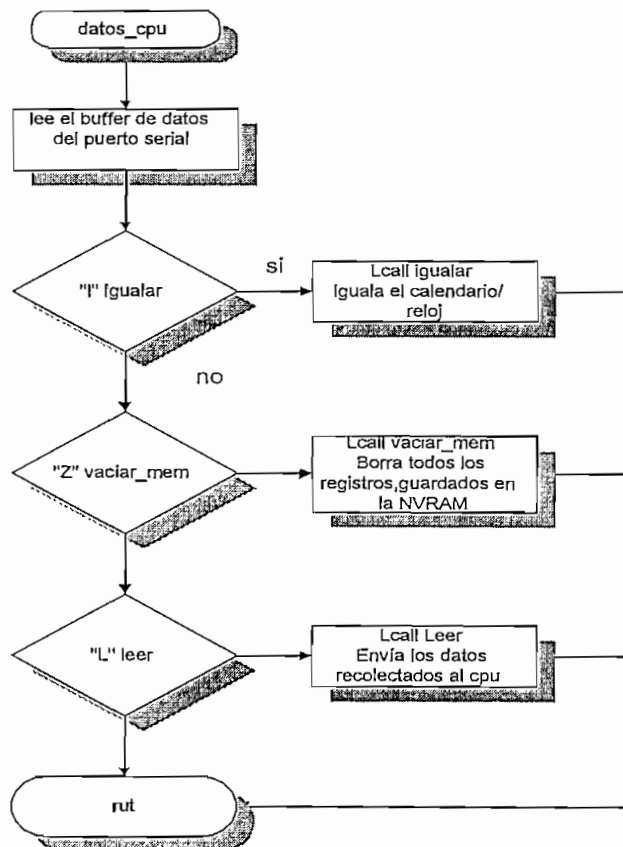


FIGURA 3.7 SUBROUTINA DATOS\_CPU

Con la llamada a esta subrutina, como se observa en el diagrama de flujo de la figura 3.7, se posibilita el cumplir una de las tres acciones antes señaladas.

### 3.2.6.1 Subrutina igualar "I"

Esta subrutina se encarga de igualar el reloj calendario, para en base a las opciones especificadas por el fabricante del microcontrolador, se mantenga funcionando en tiempo real la hora y la fecha a la cual se las ha establecido como actuales.

La subrutina se puede observar en el diagrama de flujo de la figura 3.8

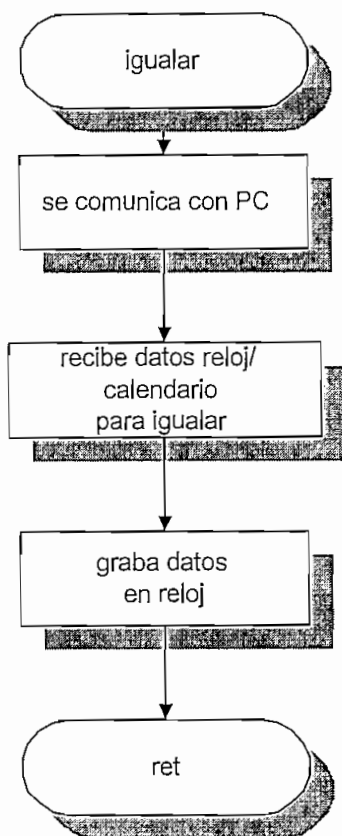


FIGURA 3.8 SUBRUTINA IGUALAR

### 3.2.6.2 Subrutina vaciar\_mem "Z"

Dentro de la subrutina `datos_cpu`, se tiene la llamada a otra subrutina que es la encargada de vaciar la memoria y corresponde al diagrama de flujo que se indica en la figura 3.9.



Esta subrutina primero inicializa los punteros último\_reg (1804H), minutos\_r (1802H) y datos (1810H), en este último se pone un lazo de repetición con la finalidad de que las 10H localidades iniciales se guarden en su lugar una "Z", lo que facilita una interpretación similar a los formatos de los HDD de los PC, luego actualiza los punteros direcc\_hig (1806H) y direcc\_low(1805H) y finalmente retorna a la subrutina de donde fue llamada.

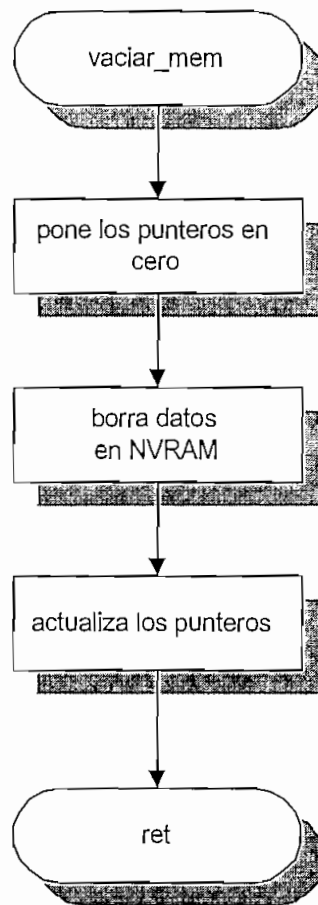


FIGURA 3.9 SUBRUTINA VACIAR\_MEM

### 3.2.6.3 Subrutina Leer "L"

Esta subrutina se encarga de leer todos los datos guardados en la NVRAM y después de recibir esta instrucción se encarga de enviar estos datos al computador, el formato de envío se inicia con el valor del registro tomado (T, H, M) como medida, luego la fecha en el

orden siguiente: año, mes, día, hora, minutos, dato; esta subrutina se ejecuta como se indica el diagrama de flujo de la figura 3.10.

El diagrama de flujo se puede entender de mejor manera con, el siguiente ejemplo:

$T$ , 1999,06,20, 15:45,  $A$ ; donde  $T$  representa la variable de la temperatura, 1999,06,20 representa la fecha año, mes y día respectivamente, 15:45 representa la hora en el sistema internacional y  $A$  corresponde al valor del dato guardado en código ASCII.

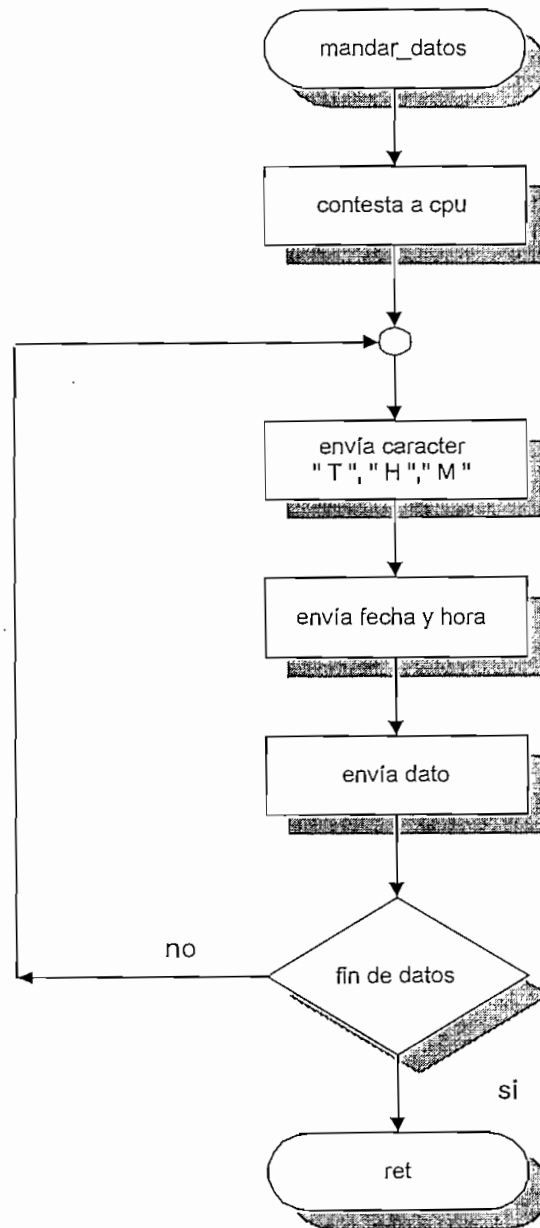


FIGURA 3.10 SUBROUTINA LEER

De forma similar es la presentación del resto de variables (H, M), hasta llegar a la condición que permite a esta subrutina saber donde tiene que finalizar la lectura de estos datos y regresar a la subrutina que le llamó; la referencia es un carácter "Z" el mismo que al ser encontrado da por terminado el envío de los respectivos datos.

### 3.2.7 Subrutina del\_tiempo.

Esta subrutina se encarga de la generación de retardo, que en forma simplificada puede verse el diagrama de flujo de la figura 3.11, que es el mismo para todos los retardos utilizados en esta tesis.

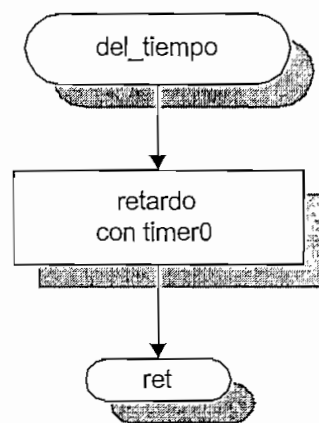


FIGURA 3.11 SUBROUTINA DEL\_TIEMPO

Esta subrutina del\_ tiempo, sirve para cambiar el tiempo por el valor que se requiera, por ejemplo: del\_1seg, esto sería la subrutina de un segundo, de manera similar se utilizan para definir: 5 segundos, 1 segundo, 150 milisegundos, 20 milisegundos, 10 milisegundos, 700 microsegundos, 500 microsegundos, tiempos que se requieren en cualquiera de las subrutinas utilizadas en la programación del microcontrolador.

De acuerdo a los requerimientos del tiempo de retardo se elaboran las subrutinas respectivas, tomando en consideración la siguiente fórmula que define los ciclos de máquina:

$$CM = \frac{12}{f_{osc}}$$

De la fórmula se concluye 1 CM=3.3 microsegundos, tomando en cuenta que el reloj del sistema es de 3.579545 MHz y que la cuenta completa de los registros es de 65.536 ciclos de máquina, entonces para las subrutinas respectivas de tiempos se tiene lo siguiente:

#### **Del\_1seg**

1 CM = 3.3  $\mu$  seg.

1 seg. = 303030 CM

303030 / 65536 = 4 + 40886

65536 – 40886 = 24650 ==> 604AH

#### **Del\_20mili:**

1 CM = 3.3  $\mu$  seg.

20 Miliseg = 6060CM

65536 – 6060 = 59476 ==> E854H

#### **Del\_10mili:**

1 CM = 3.3  $\mu$  seg.

10 miliseg = 3030 CM

65536 – 3030 = 62506 ==> F42AH

#### **Del\_700micro:**

1 CM = 3.3  $\mu$  seg.

700 micro = 212 CM

65536 – 212 = 65324 ==> FF2CH

#### **Del\_500micro:**

1 CM = 3.3  $\mu$  seg.

500 micro = 151 CM

65536 – 151 = 65385 ==> FF69H

Ajustándose de esta manera el funcionamiento del timer0 en modo 1 donde los registros conforman un contador de 16 bits (TH0 + TL0).

### **3.2.8 Programación del Reloj en tiempo real.**

En el microcontrolador se tiene muchas opciones y una de ellas es la de tener incorporado un reloj en tiempo real, por lo que, para las aplicaciones de este prototipo se utiliza esta ventaja aplicando las recomendaciones que da el fabricante en cuanto al manejo del TA (Timed Access Register) que empieza con los parámetros de inicialización que están contemplados al inicio de la programación del microcontrolador.

La sintaxis más importante para el manejo del reloj es la siguiente:

Register address: 0C7H

```
MOV 0C7H, 0AAH
```

```
MOV 0C7H, 055H
```

Estas instrucciones son importantes y se requieren para activar el funcionamiento del reloj, mayores detalles se encuentran en el anexo al final de la presente tesis.

Cuando se llama a la subrutina reloj, ésta a su vez llama a otras subrutinas que trabajan en estrecha relación con el reloj y que corresponden a las que se explican a continuación:

### 3.2.8.1 Subrutina reloj.

Esta subrutina se encarga de leer los datos del reloj y con ayuda de la subrutina `mu_ascii_display`, presentar los datos, en el display que se encuentra en el prototipo. El funcionamiento de esta subrutina consiste primero, en llamar a la subrutina `leer_reloj` y con los respectivos datos obtenidos trabajar presentando el día, el mes, año, hora, minuto como se observa en el diagrama de flujo de la figura 3.12.

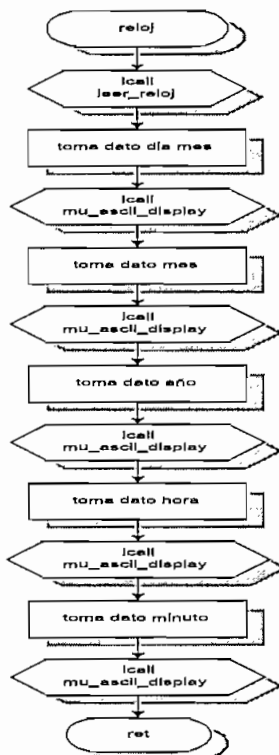


FIGURA 3.12 SUBROUTINA RELOJ

Los datos correspondientes al año son de cuatro dígitos, ejemplo 1999 y en cuanto a la hora se trabaja con la modalidad del sistema internacional (24 horas).

### 3.2.8.2 Subrutina leer\_reloj.

La subrutina leer\_reloj, se encarga de llamar a la subrutina abrir\_reloj, la misma que pone en condición de leer y con los resultados de ésta, va guardando dato a dato de tal forma que empieza con las décimas de segundos, que no son almacenados para luego continuar con los minutos, horas, día, mes, año, valores que si son guardados, para finalmente regresar a la subrutina de donde fue llamada; para cada uno de los datos a guardar se invoca a la subrutina lee\_reg., como lo indica el diagrama de flujo leer\_reloj de la figura 3.13

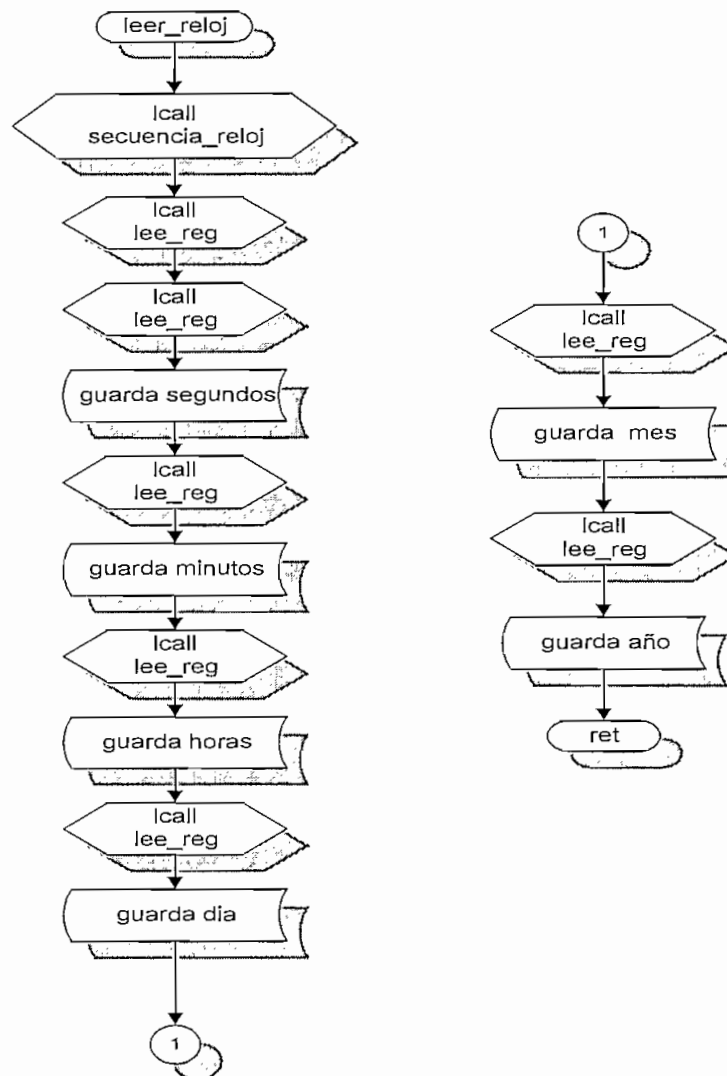


FIGURA 3.13 SUBROUTINA LEER\_RELOJ

### 3.2.8.3. Subrutina `secuencia_reloj`.

Esta subrutina después de realizar la llamada `cerrar_reloj` es la encargada de ejecutar la secuencia de lectura y escritura necesarias para establecer la comunicación con el reloj. La subrutina regresa dejando abierto el reloj para mantener la comunicación, esta subrutina altera ACC y el registro B, los cuales quedan modificados.

Al inicio de esta subrutina se llama a la subrutina `cerrar_reloj`, la finalidad de esto es asegurar que el reloj este cerrado y poder continuar con la ejecución de la subrutina como se puede ver en la figura 3.14. para finalmente retornar al punto de donde fue llamada.

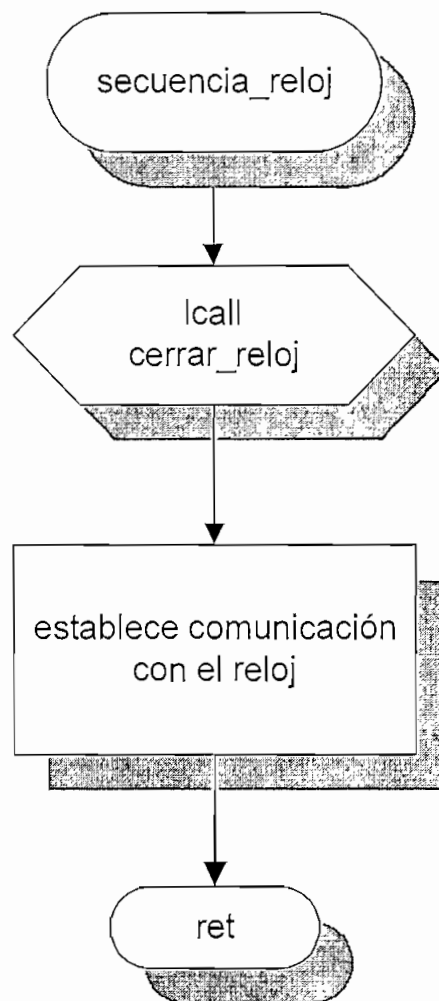


FIGURA 3.14 SUBRUTINA SECUENCIA\_RELOJ

#### 3.2.8.4. Subrutina cerrar\_reloj.

La subrutina cerrar\_reloj se encarga de realizar nueve lecturas, las mismas que aseguran que cada uno de los registros del reloj se cierren y con la subrutina lee\_reg queda el valor leído en el ACC, para finalmente retornar a la subrutina que la invoco, como se observa en el diagrama de flujo 3.15.

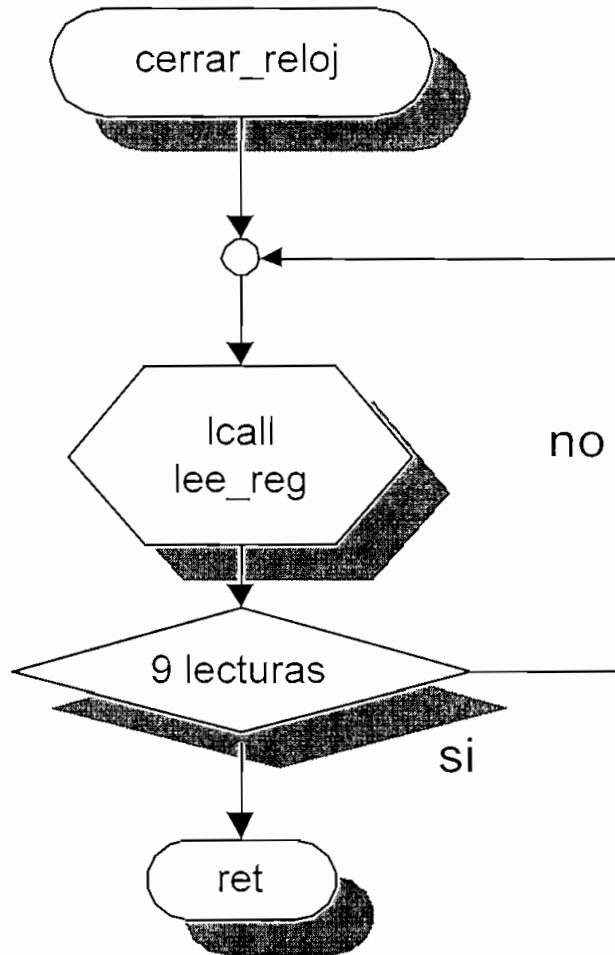


FIGURA 3.15 SUBROUTINA CERRAR\_RELOJ

#### 3.2.8.5. Subrutina mu\_ascii\_display.

Esta subrutina se encarga de convertir los valores hexadecimales de los datos que son recogidos del reloj a valores ASCII, que es el formato requerido para la presentación de los mismos en el display, el diagrama de flujo de esta subrutina se indica en la figura 3.16.



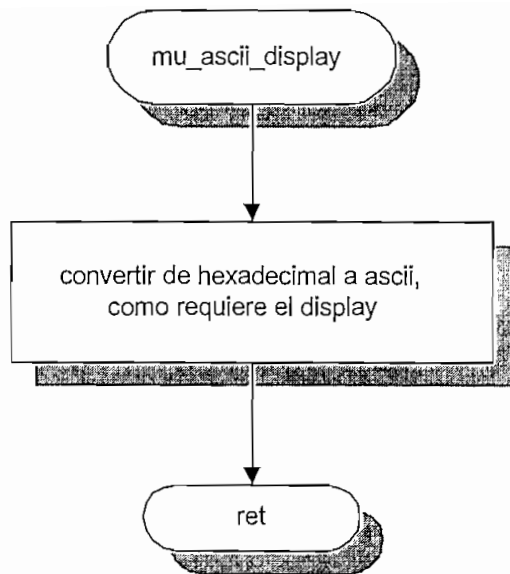


FIGURA 3.16 SUBRUTINA MU\_ASCII\_DISPLAY

### 3.2.8.6 Subrutina lee\_reg.

La subrutina lee\_reg, se encarga de realizar ocho lecturas, las mismas que permiten obtener todos los datos del reloj quedando el valor leído en el ACC, para finalmente retornar a la subrutina que la invoco, como se observa en el diagrama de flujo 3.17. Al realizar estas lecturas se obtienen los datos correspondientes a la fecha y hora respectivamente.

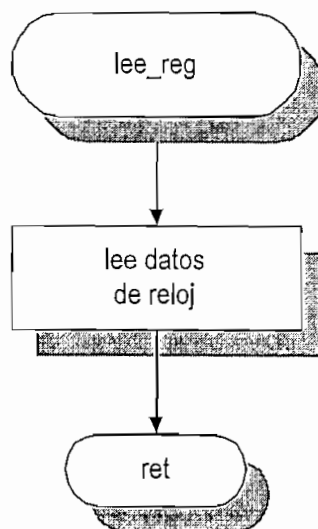


FIGURA 3.17 SUBRUTINA LEE\_REG

### 3.2.8.7 Subrutina gra\_reg.

La subrutina gra\_reg es la encargada de grabar los datos en el reloj, el diagrama de flujo se presentan en la figura 3.18

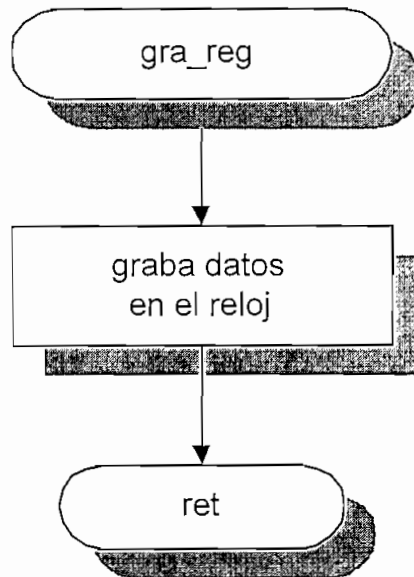


FIGURA 3.18 SUBRUTINA GRA\_REG

## 3.3. COMUNICACION ENTRE EL PROTOTIPO DE REGISTRO Y EL PC

La comunicación entre el prototipo de registro de contaminación por escapes de automotores y el computador se lo efectúa con ayuda de los pines TXD y RXD del DS2250T. La comunicación se realiza a través del puerto serial como un UART<sup>2</sup> a una velocidad variable del timer 1 en modo 2 (contador de 8 bits con autorecarga) y a una velocidad de 2400 bps y con el formato 8bits de longitud, no paridad y un bit de parada.

Las señales de TXD y RXD del microcontrolador son aplicadas al circuito MAX-232, que es el encargado de adaptar las señales, y de este circuito al conector DB-9, para su interconexión con el computador.

<sup>2</sup> UART = Universal Asynchronous Receiver and transmitter

### 3.3.1 Conexión en el pórtico serial.

En la figura 3.19, se muestra como está construido el cable que permite la conexión directa entre el computador y el prototipo, nótese que se ha realizado la conexión de los dispositivos considerando un conector DB-9, en los dos casos.

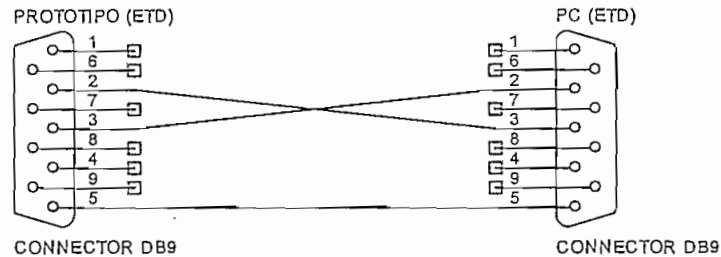


FIGURA 3.19 CONEXIÓN ENTRE EL PROTOTIPO Y EL PC

ASIGNACION DE CONTACTOS	
PIN	SEÑAL
1	DCD
2	RXD
3	TXD
4	DTR
5	GND
6	DSR
7	RTS
8	CTS
9	RI

TABLA 3.1 DESCRIPCION DE LOS PINES DEL CONECTOR DB-9

### 3.3.2 Conexión entre el prototipo y el pc.

Para que pueda comunicarse el prototipo con el PC, se debe conectar los dos dispositivos ETD como se indica en la figura 3.19, a esta conexión se la conoce como *“modem nulo”* y es la aplicación más precisa para hacer que dos equipos (ETD) se comuniquen sin ningún problema siguiendo las reglas de la norma RS-232C.

Bajo estas consideraciones se ha construido un cable de 2 metros con la configuración indicada en la figura 3.19, y para mayor facilidad se agrega un switch, como se indica en el diagrama de la figura 3.20, la función de este switch, es para que, el cable permita disponer de las siguientes posibilidades de trabajo:

1. - Cuando se utiliza para igualar el reloj, encerrar los datos y transmitir los datos, con el programa expresamente desarrollado para el efecto, el switch se encuentra en la posición de abierto.
2. - Cuando se utiliza para realizar cualquier cambio en la programación del microcontrolador DS2250T, el switch debe estar en la posición "P" y se debe utilizar el software DS5000<sup>3</sup>, en el computador.

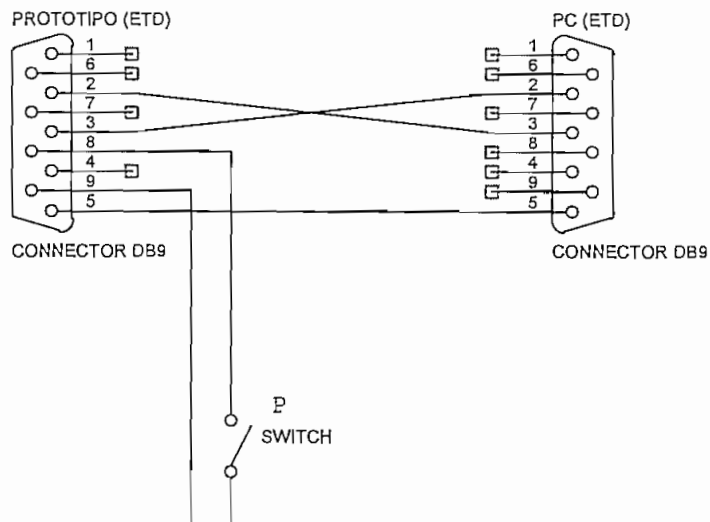


FIGURA 3.20 CONEXION ENTRE EL PROTOTIPO Y EL PC

### 3.4 Diagrama de flujo del programa de procesamiento en el computador.

Existen diversos métodos de utilización de los diagramas de flujo; sin embargo, el que se ha escogido para explicar de una manera sencilla es el enfoque de flujo de datos con la metodología de Gane & Sarson; este enfoque tiene tres ventajas principales:

- Libertad de contar con rapidez de una implementación técnica del sistema.

<sup>3</sup> Software que facilita la transmisión del programa a ser almacenado en el microcontrolador DS2250T.

- Comprensión adicional de la relación existente entre los sistemas y subsistemas.
- Comunicación a los usuarios del estado actual del sistema, mediante los diagramas de flujos de datos.
- Para representar el flujo en un diagrama de flujo de datos se utilizarán cuatro símbolos básicos <sup>4</sup> que son:

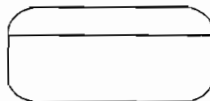
Un cuadro doble: Representa una entidad externa.



Una flecha: Representa el movimiento de los datos de un punto hacia otro, donde la punta señala el destino de los datos.



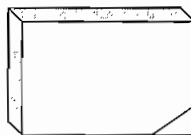
Un rectángulo con esquinas redondeadas: Representa un proceso de transformación.



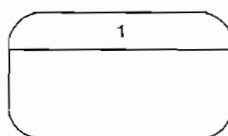
Un rectángulo abierto por una de sus caras: Representa el almacenamiento de información.



Otras convenciones<sup>5</sup>



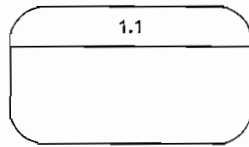
Se pone una diagonal en la esquina para indicar que es una entidad duplicada.



<sup>4</sup> Kendall & Kendall "Análisis y Diseño de Sistemas", México 1991.página 221.

<sup>5</sup> Kendall & Kendall "Análisis y Diseño de Sistemas", México 1991.página 291.

Numeración del proceso en la parte superior.



Para indicar subprocesos utilice decimales.



Se pone doble línea para indicar almacenamiento duplicado.



Asa para indicar líneas de flujo que se cruzan pero que no se intersecan.



### 3.4.1 El registro de contaminación del aire.

El proceso de medición de contaminación del ambiente por escapes comprende 3 subprocesos.

El primero y más importante es la planificación, en este el administrador del proceso se encarga de dar al sistema la información necesaria acerca de las variables a ser medidas; esto es, humedad, monóxido de carbono y temperatura. Esta información sirve para calibrar el equipo de mediciones y para tener criterios de interpretación de las lecturas del mismo. Una vez que el equipo de medición ha sido calibrado se procede a planificar los horarios y lugares donde se van a tomar las muestras, el calendario de mediciones que se obtenga como resultado de este proceso es de vital importancia ya que permitirá tener una

idea clara acerca del fenómeno de la contaminación producida por escapes en el medio ambiente.

El segundo proceso es la recolección de mediciones, para lo cual el equipo de medición consta de las siguientes características: sensores de humedad, temperatura y monóxido de carbono, memoria para guardar, los datos, fechas y horas, puerto serial de comunicación a una velocidad de 2400 bps y un teclado de 16 teclas, el equipo funciona con un voltaje de 100 / 240 VAC a una frecuencia de 47/63Hz.

El tercer paso consiste en procesar la información recolectada y obtener resultados en forma de cuadros estadísticos y reportes para ser presentados a los usuarios encargados de su interpretación.

Para el procesamiento de los datos registrados en el equipo se ha desarrollado un programa en Visual Basic 6.0 como front-end<sup>6</sup> y Access 97 como back-end<sup>7</sup>. El sistema denominado **E.M.C.A.** (Equipo de Monitoreo de Contaminación del Aire), consta de 3 módulos organizados en forma funcional.

El primer módulo es el que se encarga del paso de los datos desde el equipo de medición hacia el computador y específicamente hacia el programa de procesamiento.

El segundo módulo se encarga del procesamiento de la información, dando como resultado 4 gráficos estadísticos, de temperatura, monóxido, humedad y uno que presenta la información de las tres variables con el fin de establecer comparaciones; estos gráficos pueden ser obtenidos para fechas y horarios establecidos por el usuario. Al igual que la presentación de curvas estadísticas el sistema puede presentar tablas de los datos recolectados.

El tercer módulo fue añadido con el propósito de que la información almacenada en el sistema no se pierda, frente a cualquier eventualidad. Este módulo sirve para respaldar y recuperar información de la base de datos. Los respaldos y recuperaciones pueden ser hechos desde cualquier ruta especificada por el usuario.

Dado que el sistema tiene información que solo puede ser manipulada por personal autorizado, el programa contiene una tabla de usuarios, donde se guarda la información de las personas que pueden ingresar al sistema y se le asigna una clave de acceso encriptada.

---

<sup>6</sup> Presentación del programa en pantalla.

<sup>7</sup> Base de datos.

### 3.4.2 Diagrama de flujo de datos.

A continuación se presentan una serie de diagramas de flujo, los mismos que tienen la finalidad de ilustrar el funcionamiento general del sistema, desde el punto de vista de un proceso y como un resumen de todo lo anteriormente explicado. Como puede observarse, se inicia desde el nivel más alto y se ve explicando a niveles inferiores, de mayor detalle.

En los diagramas de flujo indicados, deben entenderse lo siguiente:

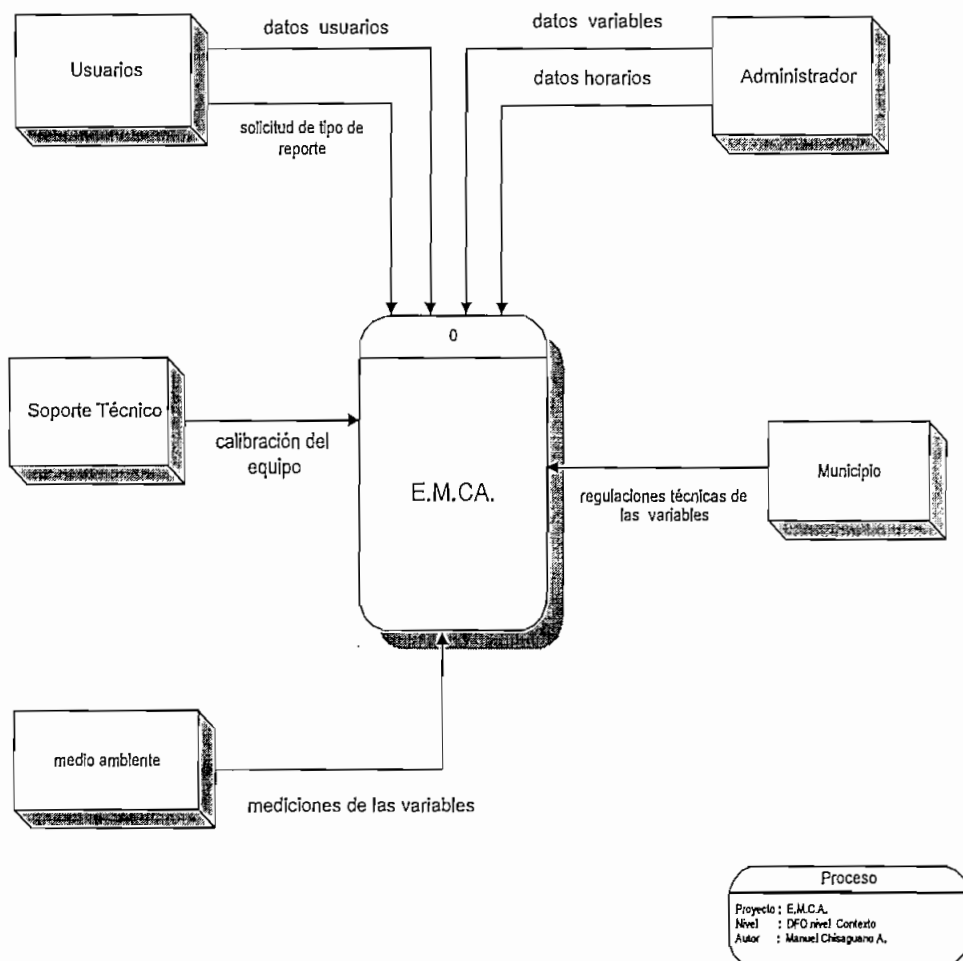
**Usuario:** se entiende la persona o personas que tiene acceso autorizado a la ejecución del programa.

**Administrador:** se entiende como la toma de decisiones de que lugares, fechas y variables a medirse y los usuarios autorizados.

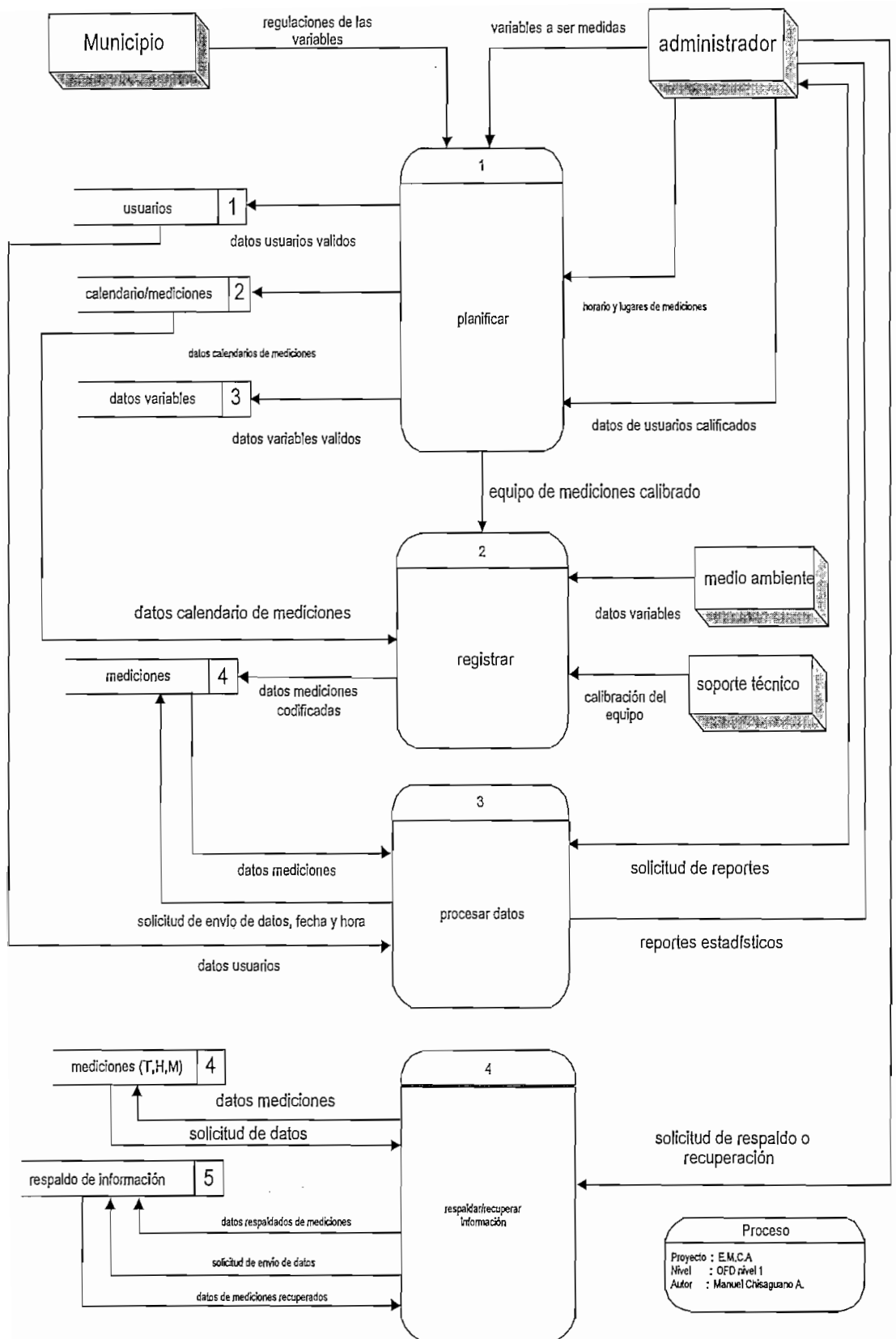
**Municipio:** aporta con las normas de la calidad del aire que rigen en la ciudad.

**Soporte técnico:** responde por el perfecto funcionamiento del equipo en general.

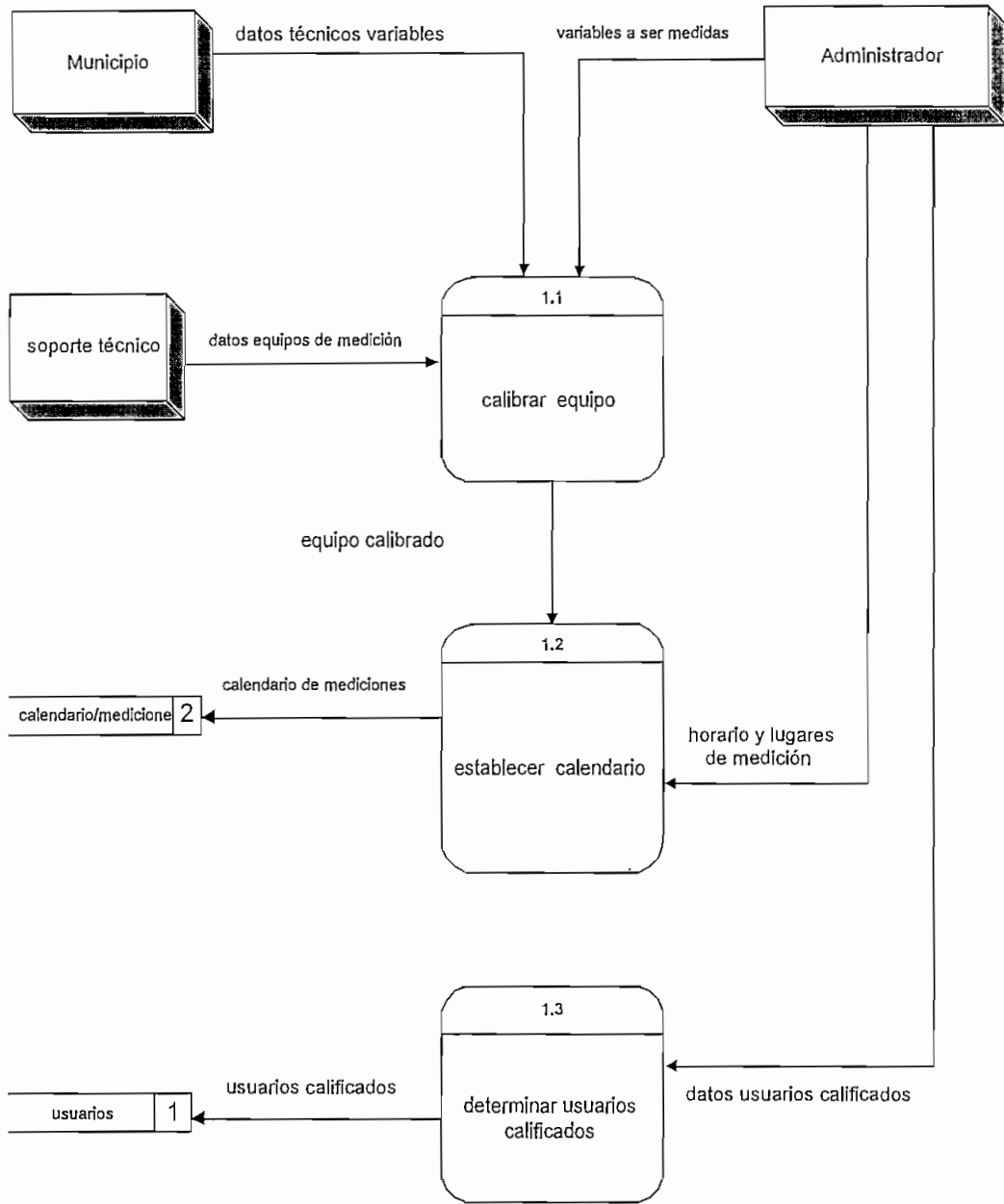
**Medio Ambiente:** aporta con las mediciones de las variables a registrarse.



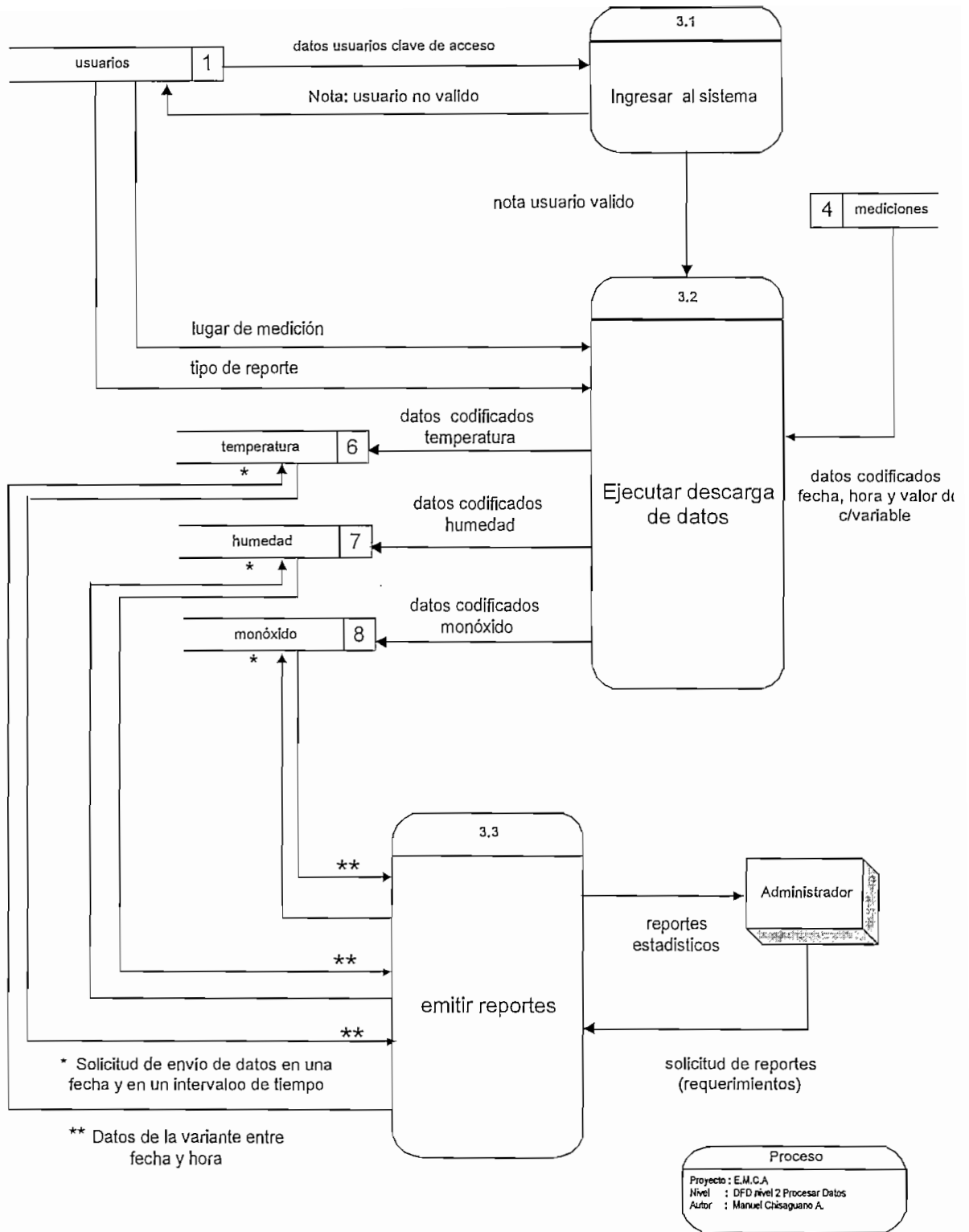




Proceso  
 Proyecto : E.M.C.A  
 Nivel : OFD nivel 1  
 Autor : Manuel Chisaguano A.



Proceso  
 Proyecto : E.M.C.A  
 Nivel : DFD nivel 2 Planificar  
 Autor : Manuel Chisaguano A.



# **CAPITULO IV**

## RESULTADOS Y CONCLUSIONES

## **CONTENIDO CAPITULO IV**

**4.1 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y RESULTADOS**

**4.2 ANALISIS DE DATOS PARA SERVICIO AL USUARIO**

**4.3. CONCLUSIONES**

**4.4. RECOMENDACIONES**

## 4.1 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y RESULTADOS.

Primero se procedió al ensamblaje de cada una de las etapas previa a la construcción del prototipo; se calibraron y probaron satisfactoriamente todas y cada una de las tarjetas desarrolladas que componen el sistema. De esta manera se logró estandarizar los voltajes de trabajo, como es el caso de la tarjeta del sensor de temperatura y de la tarjeta del sensor de humedad respectivamente. No así la tarjeta del sensor de monóxido de carbono, ya que la señal del mismo se aplica directamente al conversor ADC 0808 ya que la curva de respuesta tiene una relación directa, dentro de un rango de 0 a 5 VDC al igual que en los sensores anteriores.

Con la construcción del prototipo se realizaron las pruebas necesarias de los diversos componentes, básicamente de los sensores, circuitos de referencia, circuitos amplificadores, microcontrolador y periféricos.

En lo que se refiere a los distintos componentes principales del equipo se realizaron las pruebas siguientes:

### **Temperatura:**

El sensor de temperatura es el circuito LM335, el mismo que necesita de un circuito de referencia y un circuito amplificador operacional los mismos que oportunamente fueron descritos, pero que en conjunto presentan niveles de voltaje equivalentes para medir la temperatura en el medio ambiente, en un rango de 0 °C a 50 °C, tomando como valores referenciales el sistema compuesto por un termómetro USG y un termómetro funke – Gerber. Como resultado de estas pruebas se determinó que el sistema de registro diseñado y construido trabaja satisfactoriamente; sin embargo, en algunos casos se encontró diferencias cercanas a 1°C, que representa un error cercano al 2%.

### **Humedad.**

El sensor de Humedad es el MultiMeterMate's, es un sensor de humedad de reacción rápida a los cambios del vapor de agua en el aire, permitiendo de esta manera tener una salida de tipo lineal, es decir 1 mV representa el 1% RH hasta un máximo de 100 mV que representan un 100 % RH, dada la magnitud de la señal es necesario un circuito de amplificación, para tener una equivalencia en el rango de 0VDC a 5VDC el mismo que fue descrito en los capítulos anteriores.

Para la prueba correspondiente se utilizó un multímetro fluke, al mismo que se adaptó la señal entregada por el mismo sensor, obteniéndose valores muy similares a los registrados por el equipo de monitoreo y registro objeto de la presente tesis.

### **Monóxido de carbono**

El sensor de monóxido de carbono, es el sensor del fabricante NIGHTTHAWK SYSTEMS INC. (p/n 810-0536 rev 5), que se consideró como el más adecuado, debido a que es un sensor de reacción rápida a los cambios de monóxido de carbono en el aire, que se espera sean las condiciones de trabajo en la aplicación del proyecto y en vista de que entrega una respuesta ya procesada de 0 Vdc a 5 Vdc, en relación a la cantidad de monóxido de carbono.

### **Circuito del microcontrolador.**

En cuanto al funcionamiento del microcontrolador, las pruebas estuvieron orientadas al conjunto que comprende la tarjeta diseñada para el efecto, y dentro de ésta al perfecto funcionamiento de los conversores y display conectados al sistema, mediante el uso de rutinas de lectura y envío de datos.

Finalmente se probó la capacidad de almacenamiento de los datos registrados, para luego realizar las pruebas de comunicación a través del puerto serial.

Una vez determinado que todos los componentes funcionan correctamente y dentro de los rangos y valores adecuados, se procedió a realizar las pruebas del sistema en su conjunto, las mismas que incluyeron las comunicaciones con el computador.

#### **4.1.1 Pruebas del equipo en el laboratorio.**

Previo a someter al equipo a las pruebas definitivas de campo, se realizaron un conjunto de pruebas con la finalidad de establecer su correcto funcionamiento, esto es comprobando el registro en el intervalo de tiempo determinado para el efecto, como también el valor instantáneo de la variable a medirse y la capacidad de almacenamiento en el microcontrolador con datos reales.

#### 4.1.1.1 Pruebas preliminares de campo.

Previo a efectuar las pruebas definitivas de campo, se decidió realizar el monitoreo y registro en dos lugares tomados al azar, con el propósito de analizar los resultados obtenidos.

##### 4.1.1.1.1 Registro de la temperatura ambiente.

Los datos fueron tomados al sur de la ciudad de Quito, en la intersección de las calles: Angamarca y Baltazar de Osorio, durante las 24 horas del día 23 de agosto de 1999, con un intervalo de registro de 10 minutos; los resultados de estas mediciones se observan en la figura 4.1.

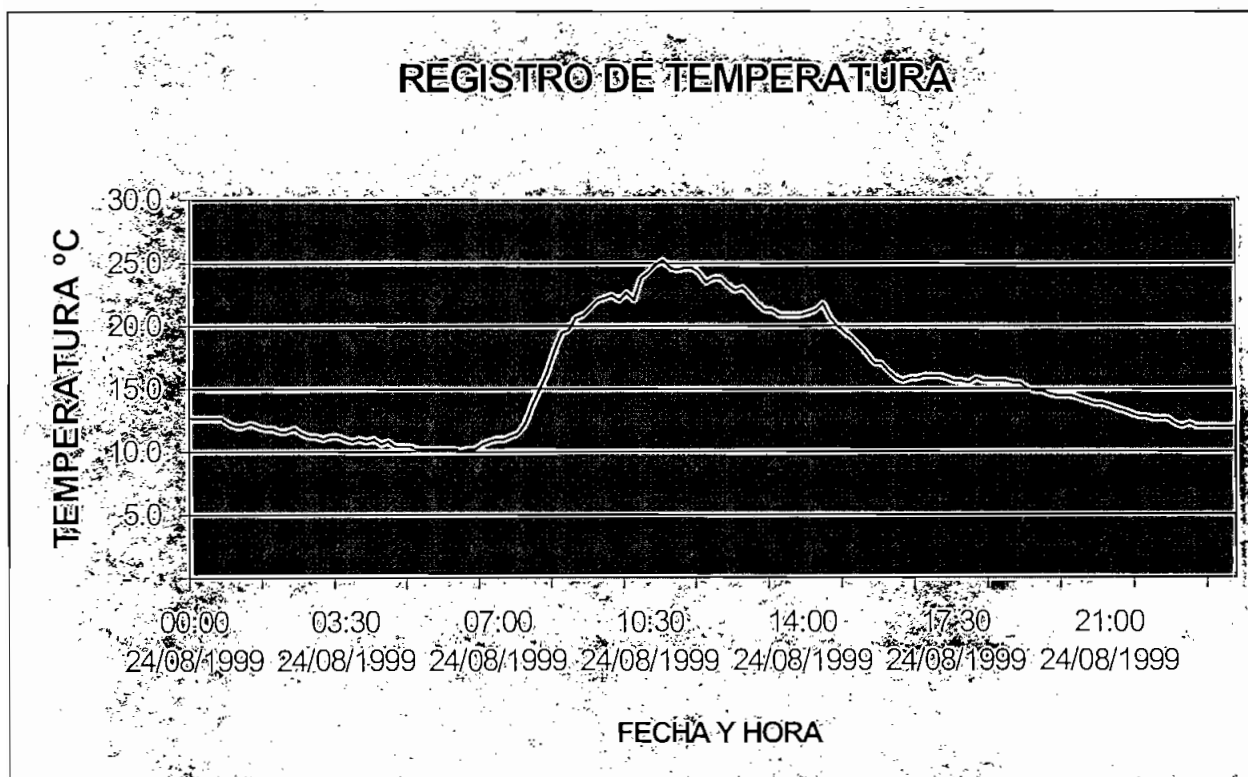


FIGURA 4.1 REGISTRO DE LA TEMPERATURA.

En la figura señalada se puede observar que la temperatura varía entre una mínima de 10 °C y una máxima de 25 °C; por lo que se puede establecer que el equipo efectivamente trabaja, para esta



variable, dentro del rango previsto y además los valores obtenidos, efectivamente corresponden a los valores de temperatura en la ciudad de Quito.

#### 4.1.1.1.2 Registro de la humedad relativa.

Como se explicó el equipo registra en forma individual las variables pre- establecidas, en este caso, para obtener la respectiva curva de respuesta de la humedad en al ambiente.

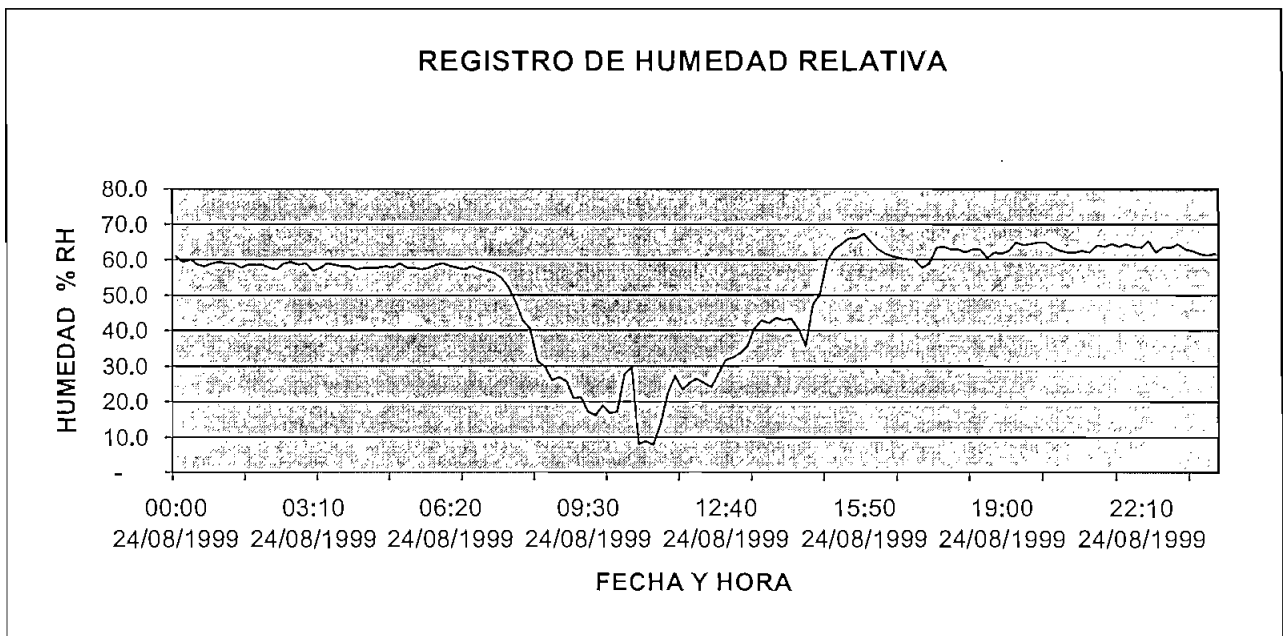


FIGURA 4.2 REGISTRO DE LA HUMEDAD RELATIVA

En la figura 4.2 se presenta el resultado obtenido para la humedad relativa en la misma fecha indicada y para la misma ubicación del equipo.

En la figura indicada se observa que hay un mínimo de humedad relativa de 8 % RH y un máximo de 70 % RH, considerando que el rango de medición del equipo es de 0 % RH al 100 % RH, se puede concluir que el resultado alcanzado es correcto.

#### 4.1.1.1.3 Registro de monóxido de carbono.

Al igual que las anteriores variables, se programó la toma de mediciones del monóxido de carbono en el medio ambiente, obteniéndose el resultado que se observa en la figura 4.3; de la curva se puede concluir que cantidad de monóxido de carbono existente en el aire es casi constante durante un cierto periodo de tiempo, y que durante las horas pico donde existe mayor circulación de vehículos se incrementa sustancialmente la cantidad de partes por millón de partículas de monóxido de carbono. Las mediciones de esta variable fueron tomadas en la misma fecha, lugar e intervalo que las anteriores variables.

De las pruebas realizadas en el monitoreo y registro de monóxido de carbono se puede concluir que se ajustan a los rangos de medición, diseñados para el efecto y como complemento se encuentran en estrecha relación con la norma emitida con el Municipio de Quito.

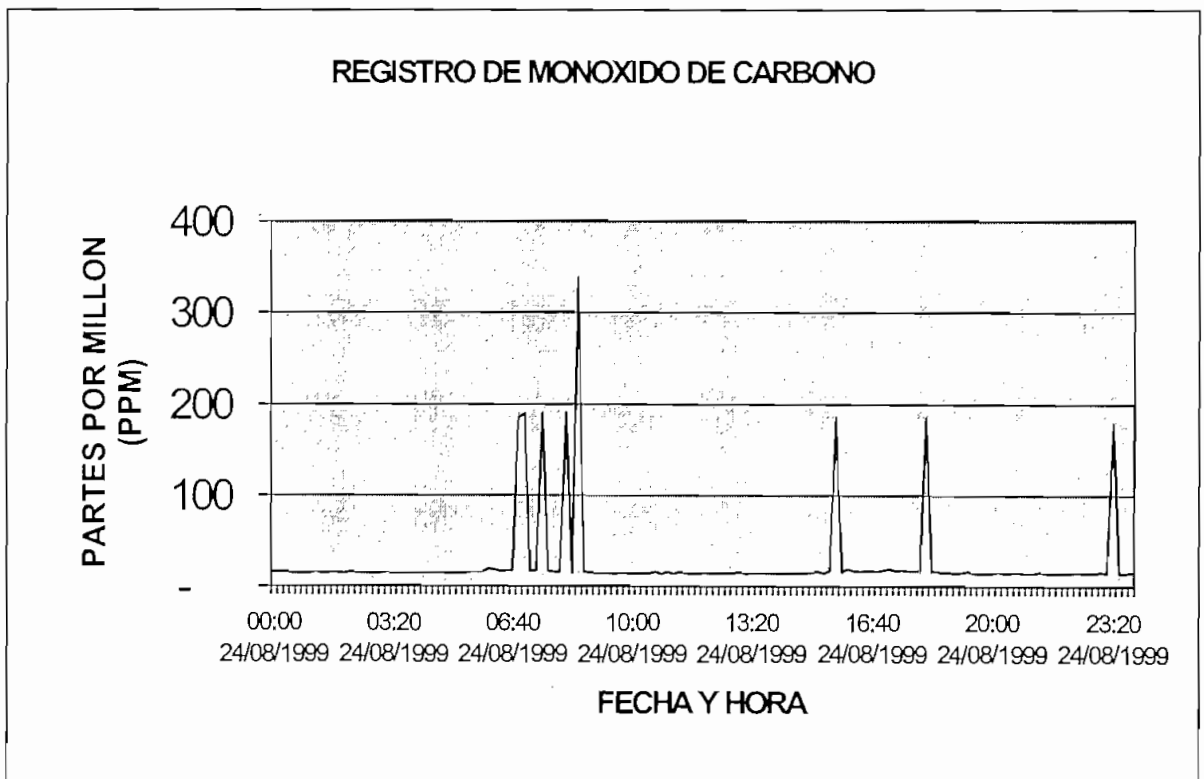


FIGURA 4.3 REGISTRO DE MONOXIDO DE CARBONO.

En todos los casos al registrarse las variables, se toman las mediciones, como valores instantáneos, luego del descenso en la base de datos se presentan como tales, pudiendo ser utilizados los mismos de acuerdo al mejor criterio del usuario.

#### 4.1.1.2 Pruebas en ambiente cerrado.

Se decidió realizar pruebas del prototipo en un ambiente contaminado con humo de cigarrillo, en un local cerrado, con la colaboración de varias personas. Las pruebas fueron realizadas entre las 21H y las 23H y con los resultados que se pueden observar en la curva obtenida de monóxido de carbono de la figura 4.4.

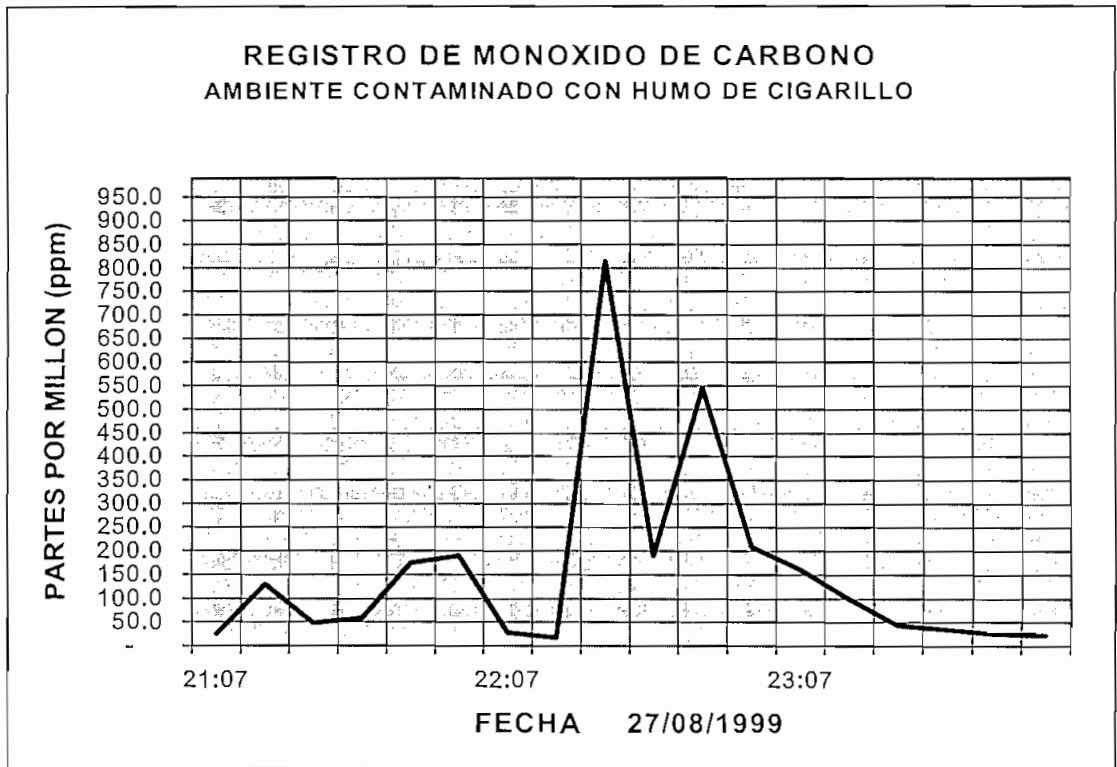


FIGURA 4.4 REGISTRO DE MONOXIDO DE CARBONO EN AMBIENTE CERRADO.

De la curva se puede observar que el monóxido de carbono alcanza un pico muy alto de 813 ppm por el ambiente saturado de humo, para luego descender paulatinamente hasta alcanzar un valor inferior a 20 ppm, una vez que el ambiente se ventiló.

Durante esta prueba se pudo experimentar que el aire contaminado ocasiona dolores de cabeza y mareo, tema de importancia para los interesados en el tratamiento del aire contaminado y sus consecuencias en la salud.

Además, en cuanto se refiere a los resultados de temperatura y humedad relativa estas variables no cambian considerablemente, como se puede observar en las figuras 4.5 y 4.6, los pequeños cambios se deben a las personas que se encuentran en el sitio, que a la cantidad de humo.

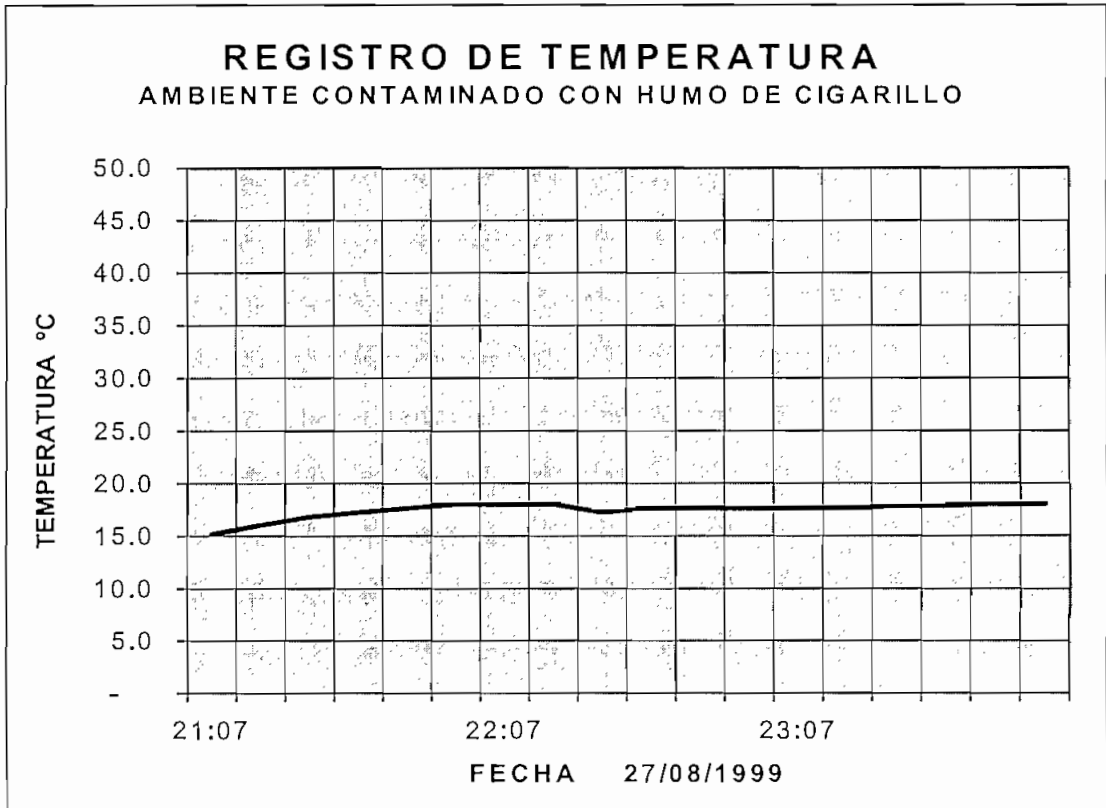


FIGURA 4.5 REGISTRO DE TEMPERATURA EN AMBIENTE CERRADO.

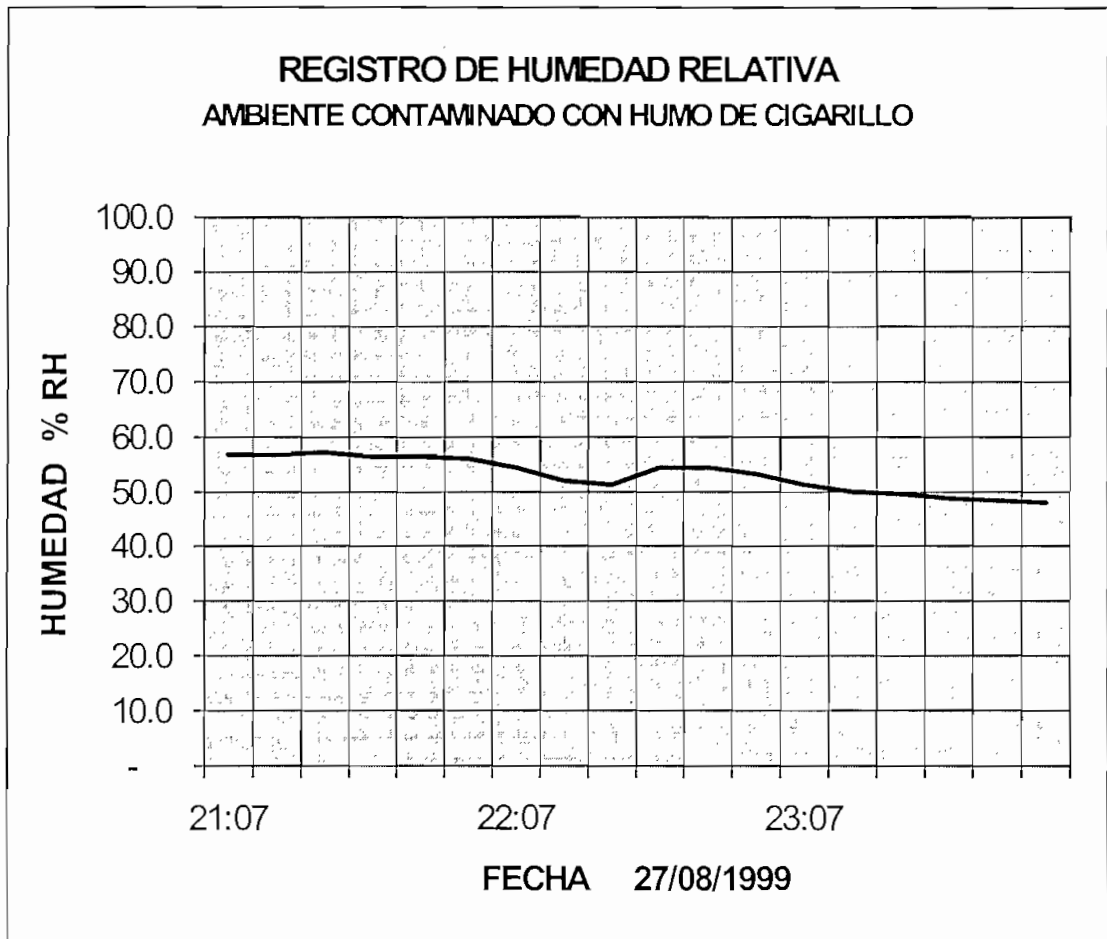


FIGURA 4.6 REGISTRO DE HUMEDAD EN AMBIENTE CERRADO.

Después de haber probado el equipo con resultados satisfactorios en los dos casos descritos, se procedió a realizar mediciones en diferentes puntos de la ciudad de Quito. Con el objetivo de poder registrar los valores de las variables descritas y aportar de esta forma en la elaboración de una base de datos para controlar la calidad de aire existente en el Distrito Metropolitano de Quito y otros lugares, de acuerdo a las necesidades de las instituciones y organismos interesados en la temática.

#### 4.1.1.3 Pruebas de campo del equipo de registro.

Los puntos de la ciudad de Quito, donde se decidió realizar las pruebas de campo del equipo de monitoreo y registro, son los siguientes, los mismos que fueron escogidos por considerar que tienen una alta probabilidad de contaminación, debido a la mayor circulación de automotores en la ciudad; sin embargo, cabe destacar que existen muchos otros de igual o mayor importancia; dichos puntos fueron:

La Michelena sector el Pintado.

Peaje Manuel Cordova Galarza.

Túneles el Tejar.

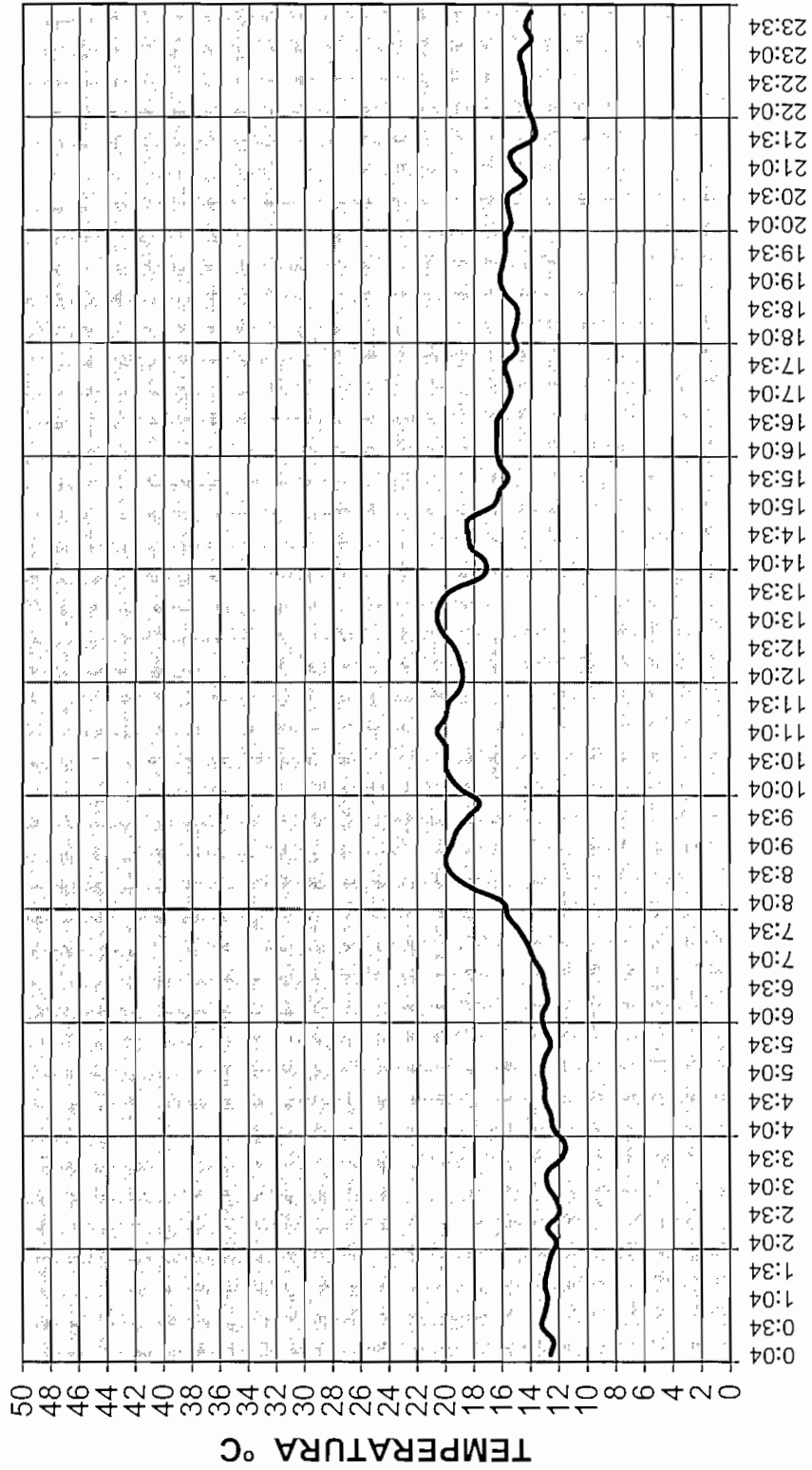
Sector la "Y".

San Blas.

Mena dos.

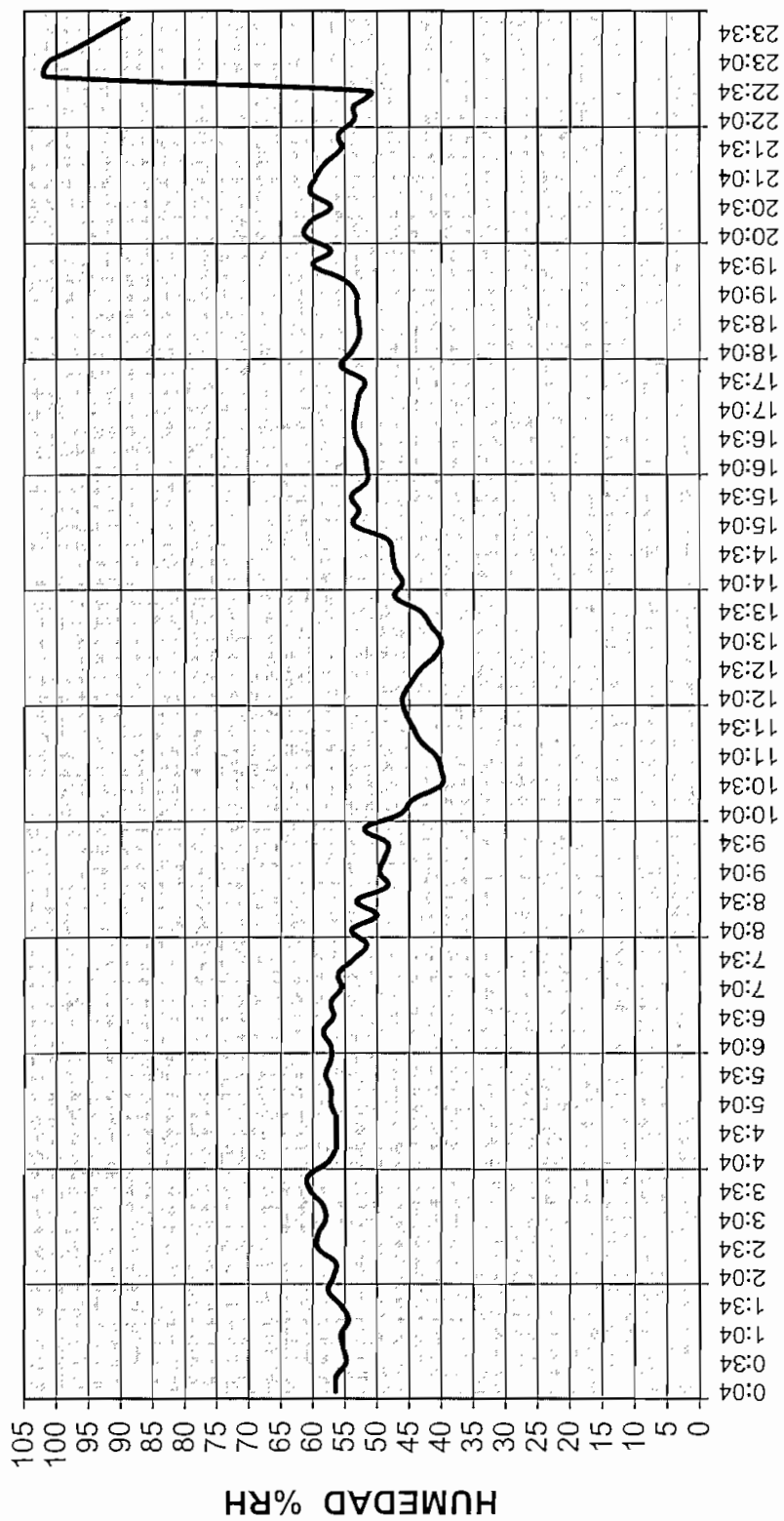
La toma de muestras se realizaron con un intervalo de 15 minutos durante 24 horas como se puede observar en las curvas para las tres variables en cada uno de los puntos señalados y que se presentan a continuación.

**REGISTRO DE TEMPERATURA**  
**UBICACION: SECTOR EL PINTADO LA MICHELENA**



**FECHA 02/09/1999**

**REGISTRO DE HUMEDAD RELATIVA**  
UBICACION: EL PINTADO LA MICHELENA

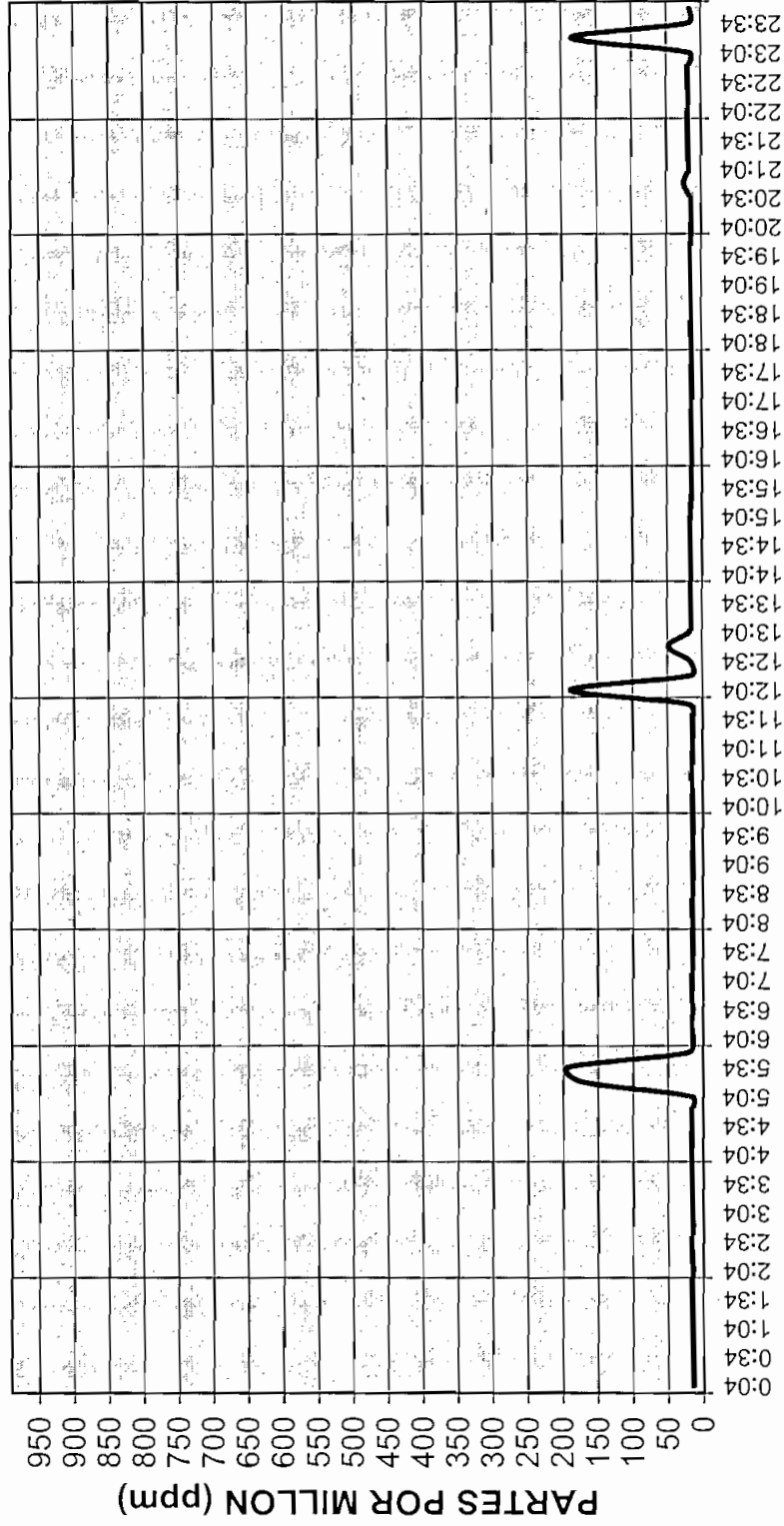


FECHA 02/09/1999



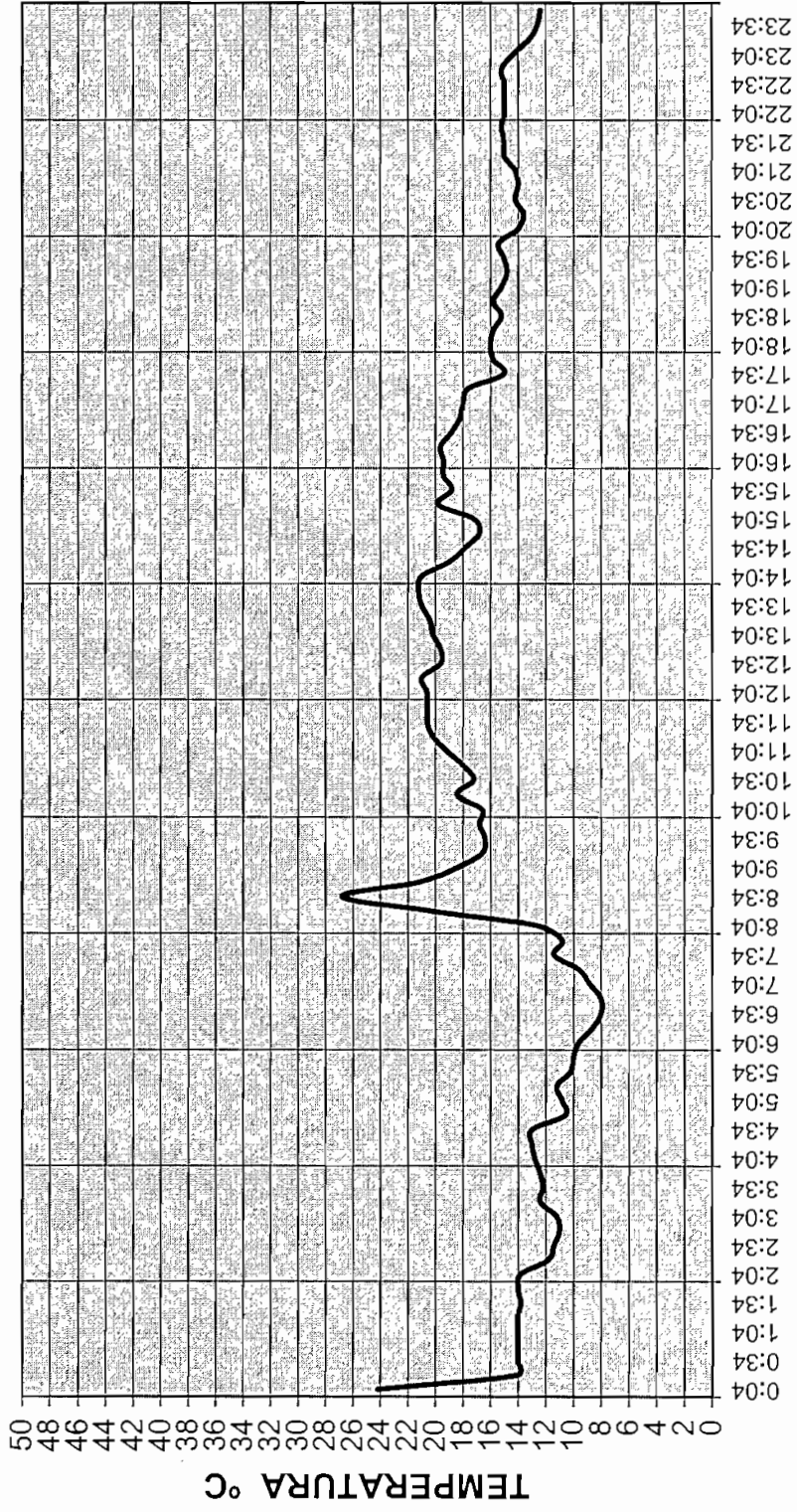
# REGISTRO DE MONOXIDO DE CARBONO

UBICACION: EL PINTADO LA MICHELENA



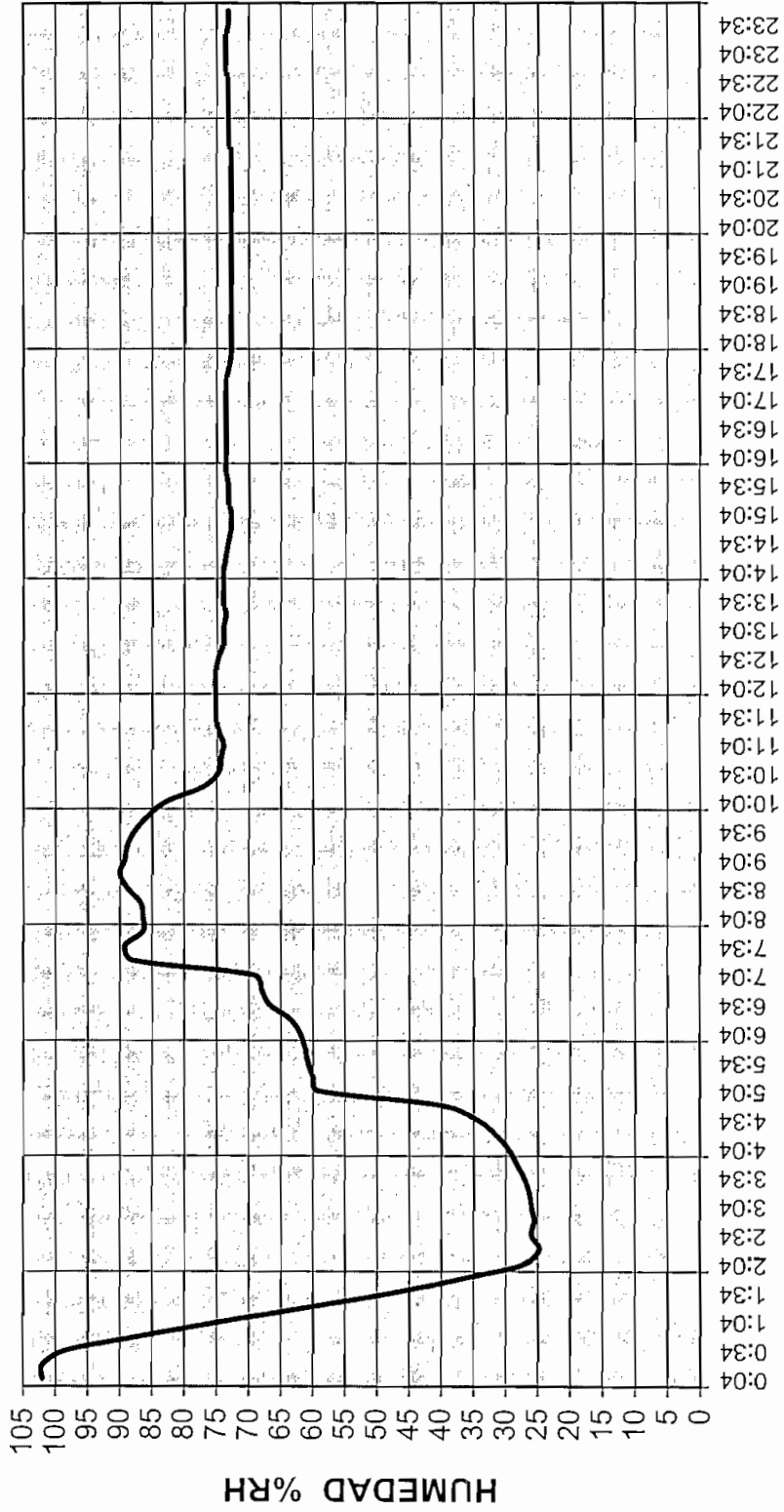
FECHA 02/09/1999

**REGISTRO DE TEMPERATURA**  
UBICACION: SECTOR EL PINTADO LA MICHELENA



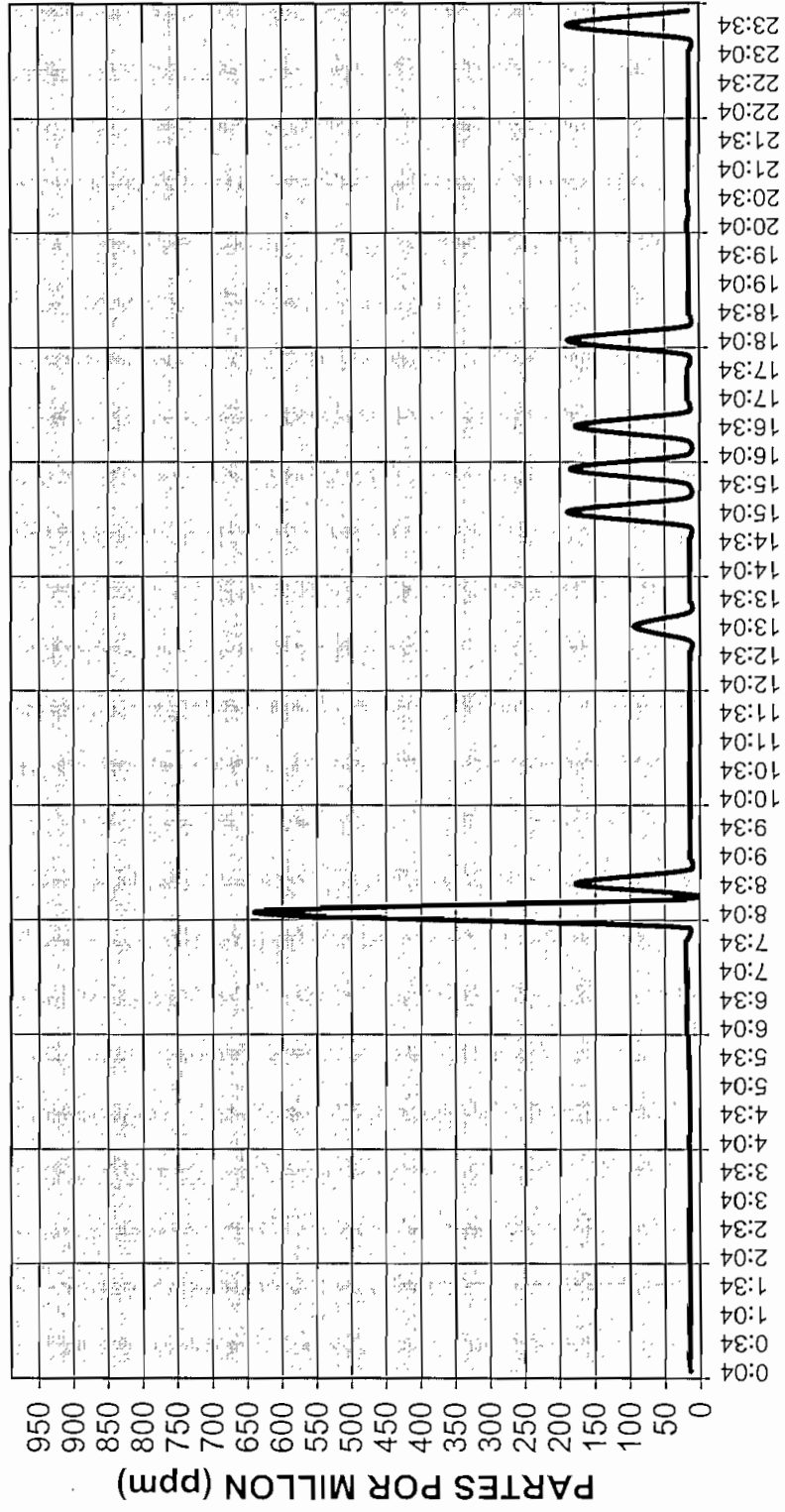
**FECHA 03/09/1999**

**REGISTRO DE HUMEDAD RELATIVA**  
UBICACION: EL PINTADO LA MICHELENA



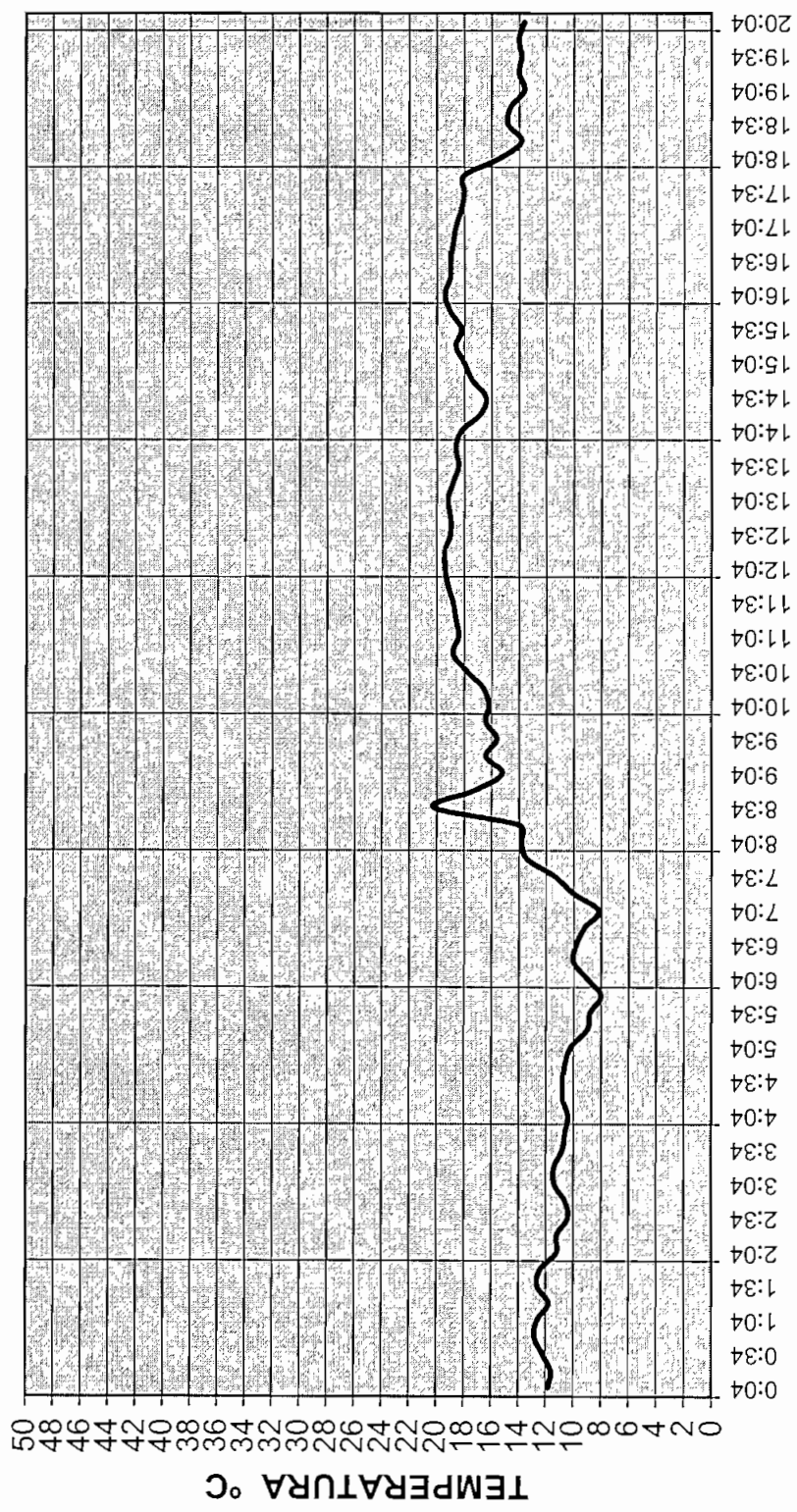
FECHA 03/09/1999

**REGISTRO DE MONOXIDO DE CARBONO**  
UBICACION: EL PINTADO LA MICHELENA



FECHA 03/09/1999

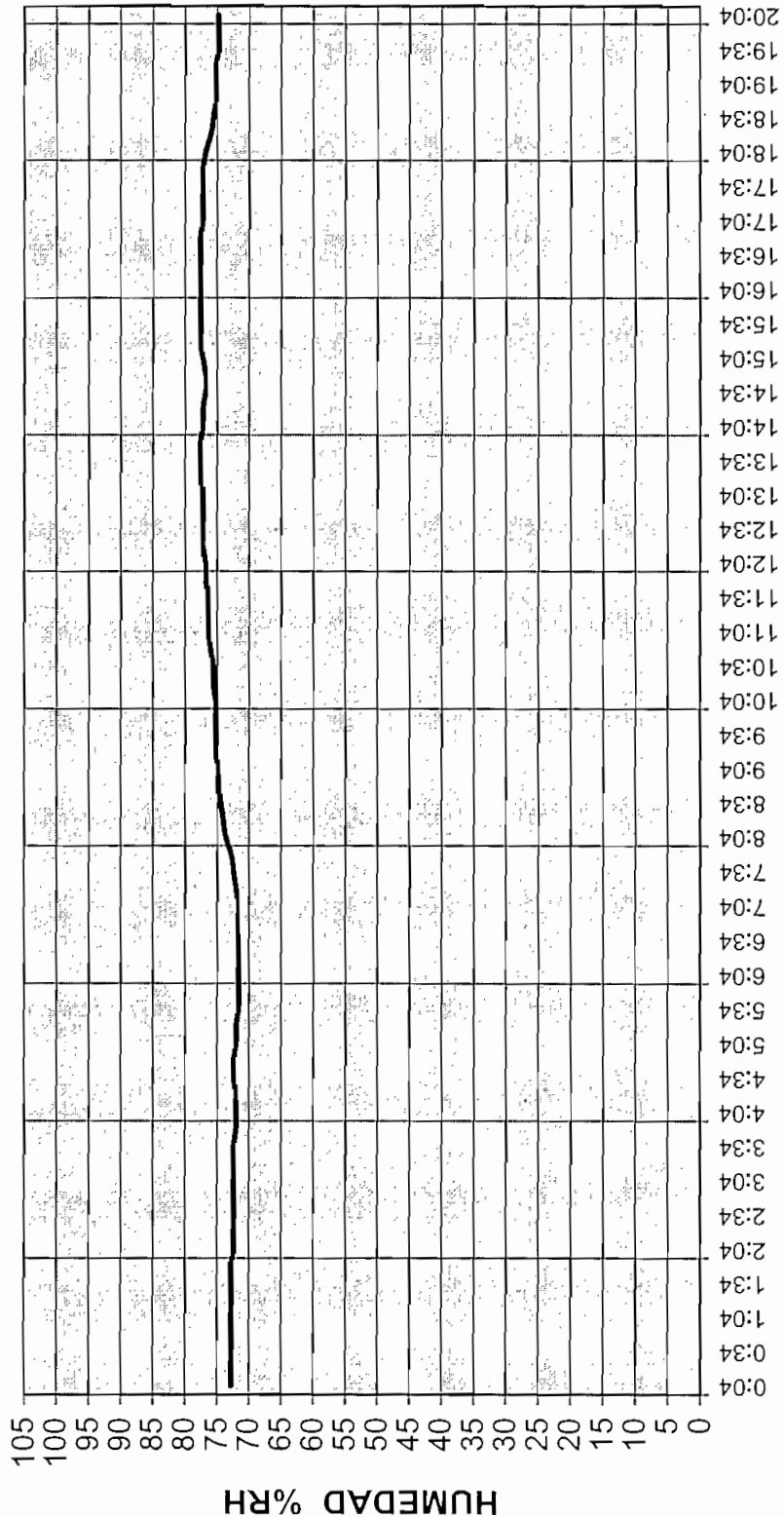
**REGISTRO DE TEMPERATURA**  
 UBICACION: SECTOR EL PINTADO LA MICHELENA



**FECHA 04/09/1999**

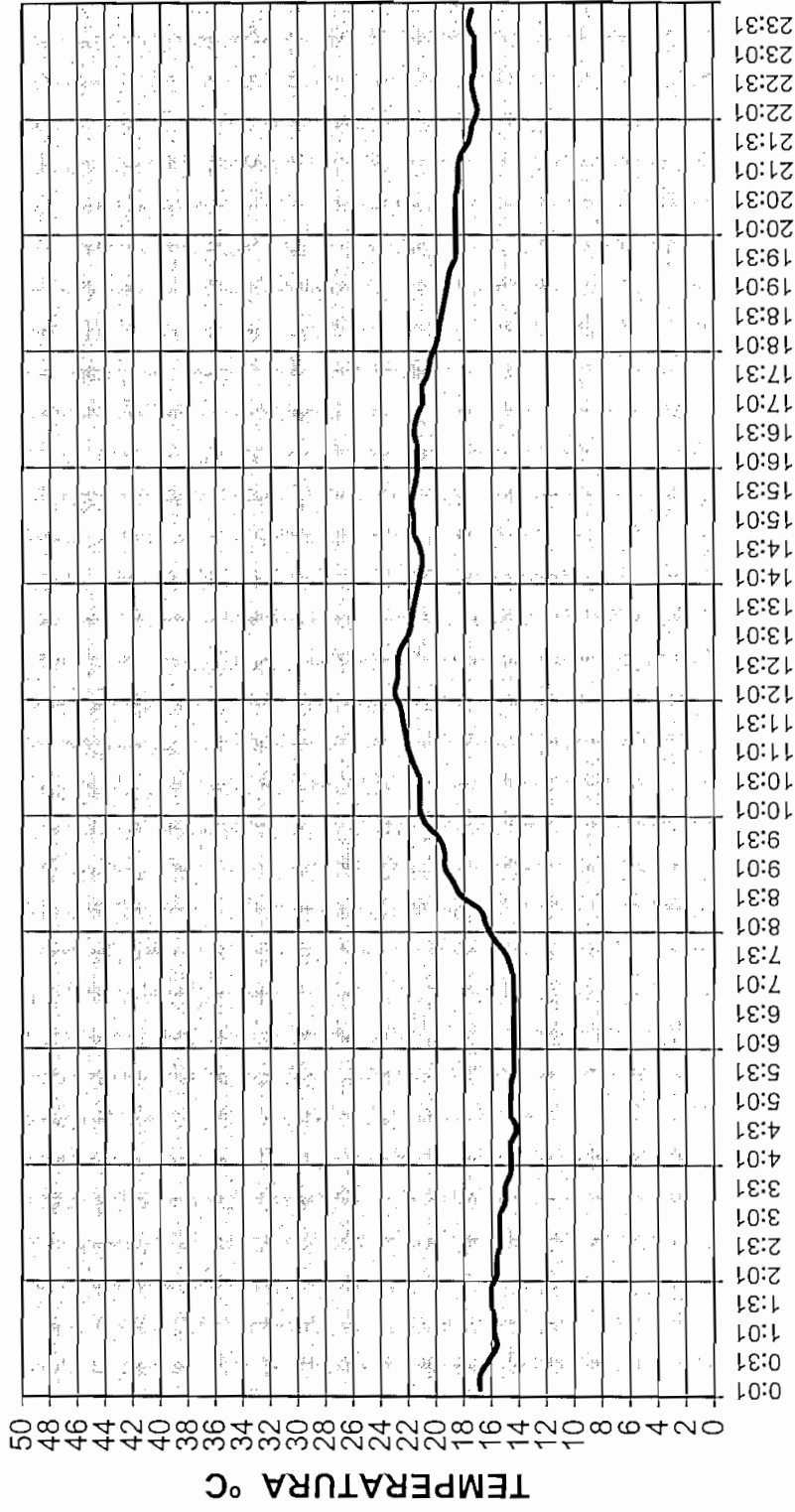
# REGISTRO DE HUMEDAD RELATIVA

UBICACION: EL PINTADO LA MICHELENA



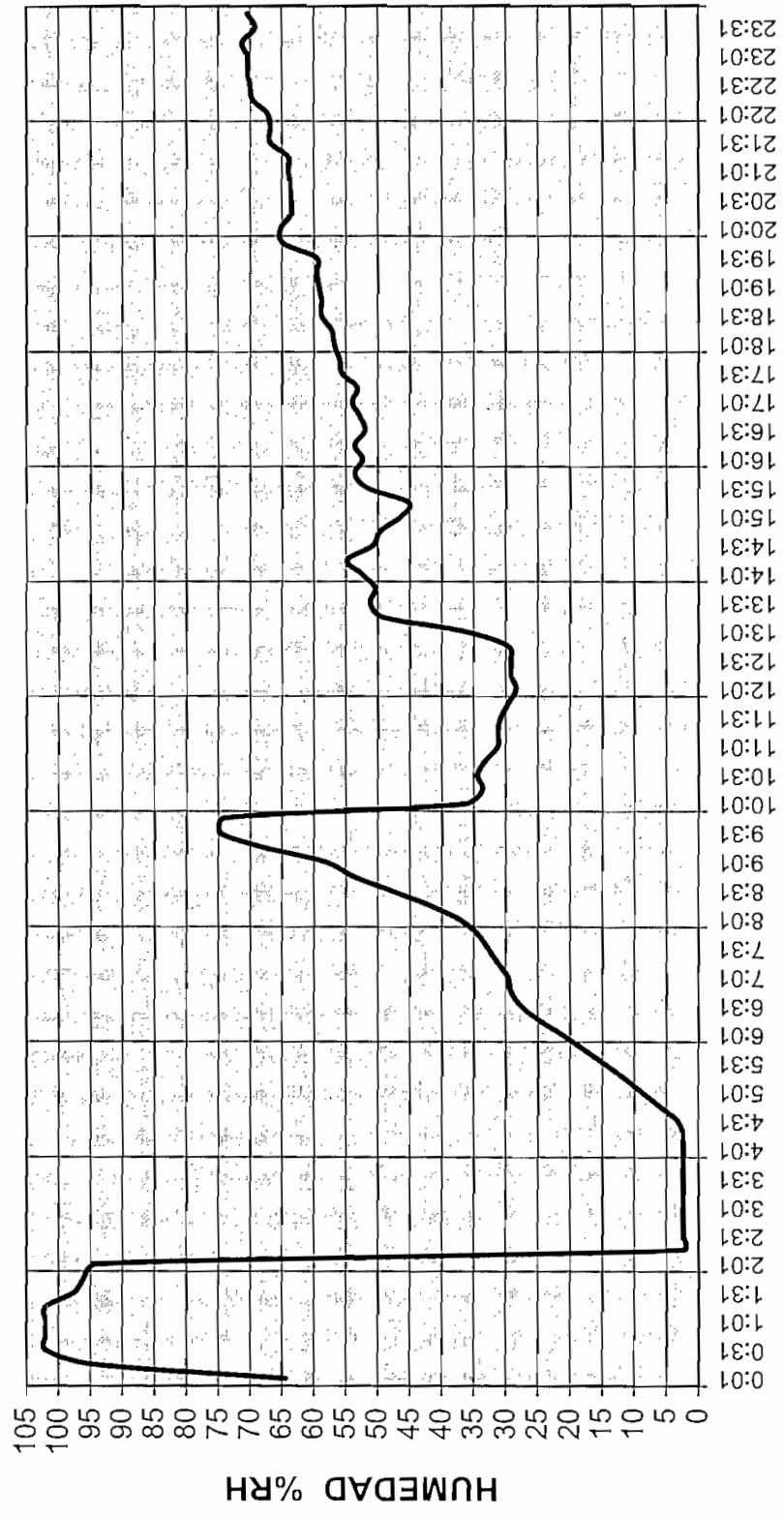
FECHA 04/09/1999

**REGISTRO DE TEMPERATURA**  
UBICACION: PEAJE MANUEL CORVODA GALARZA



FECHA 07/09/1999

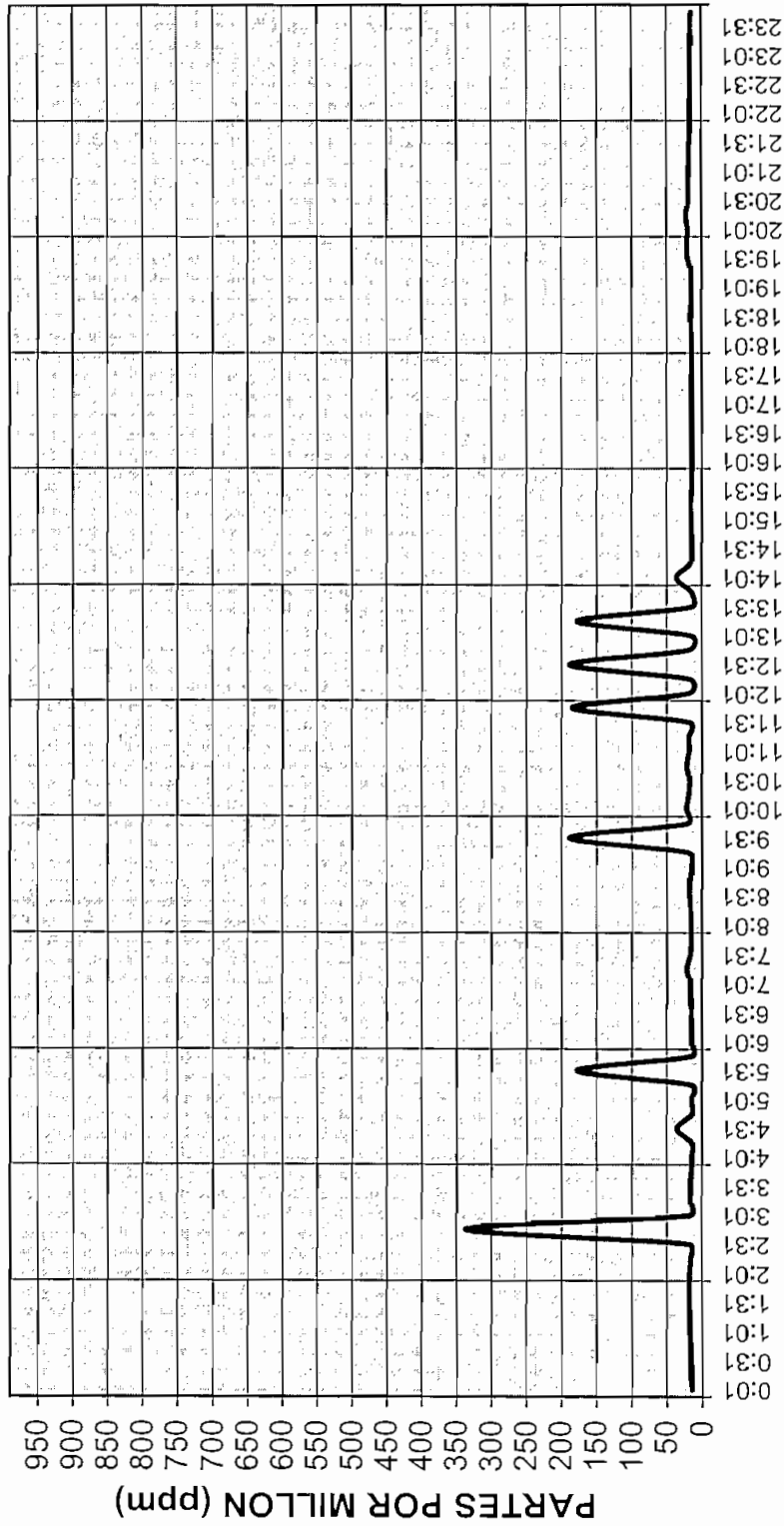
**REGISTRO DE HUMEDAD RELATIVA**  
UBICACION: PEAJE MANUEL CORDOVA GALARZA



FECHA 07/09/1999



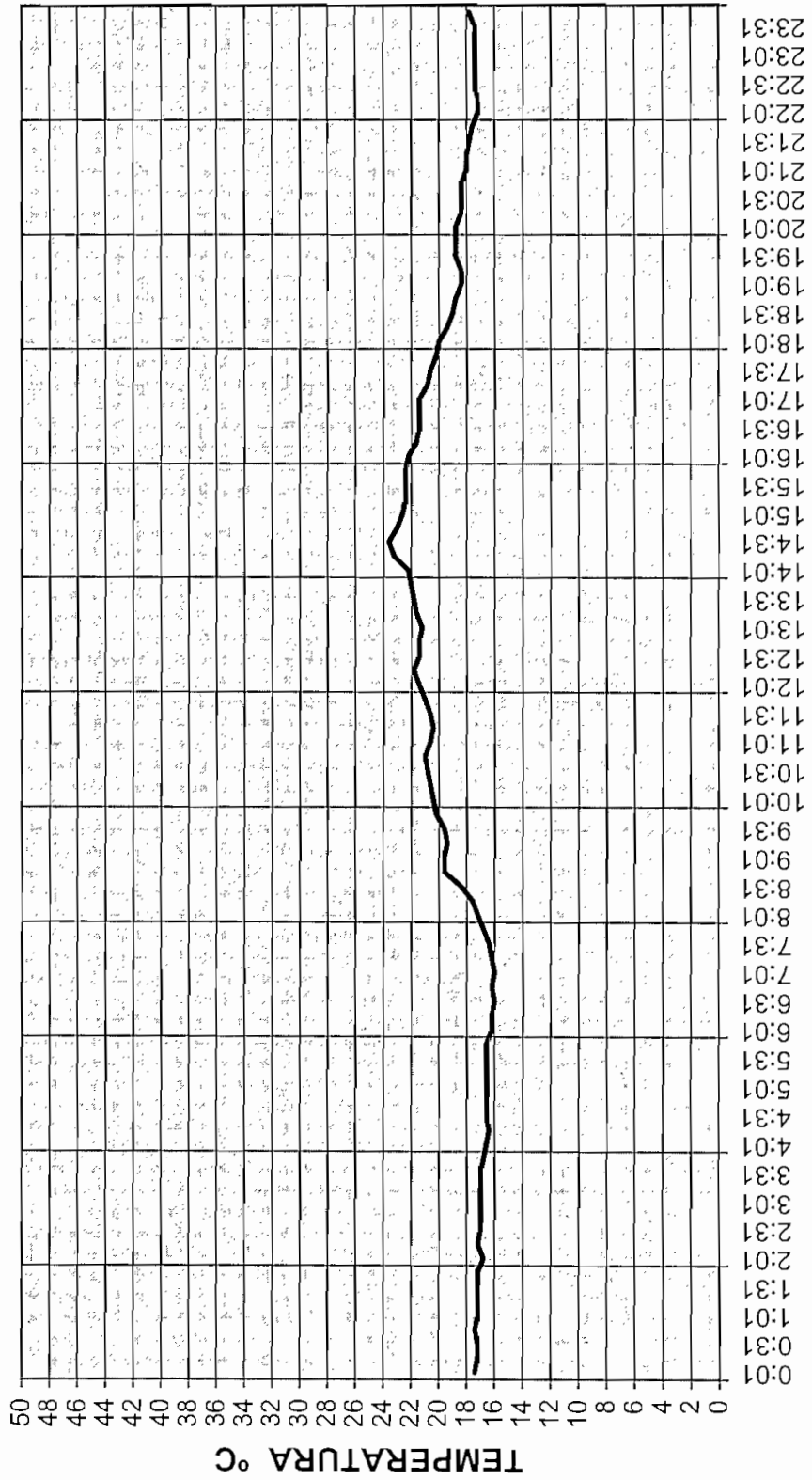
**REGISTRO DE MONOXIDO DE CARBONO**  
UBICACION: PEAJE MANUEL CORDOVA GALARZA



FECHA 07/09/1999

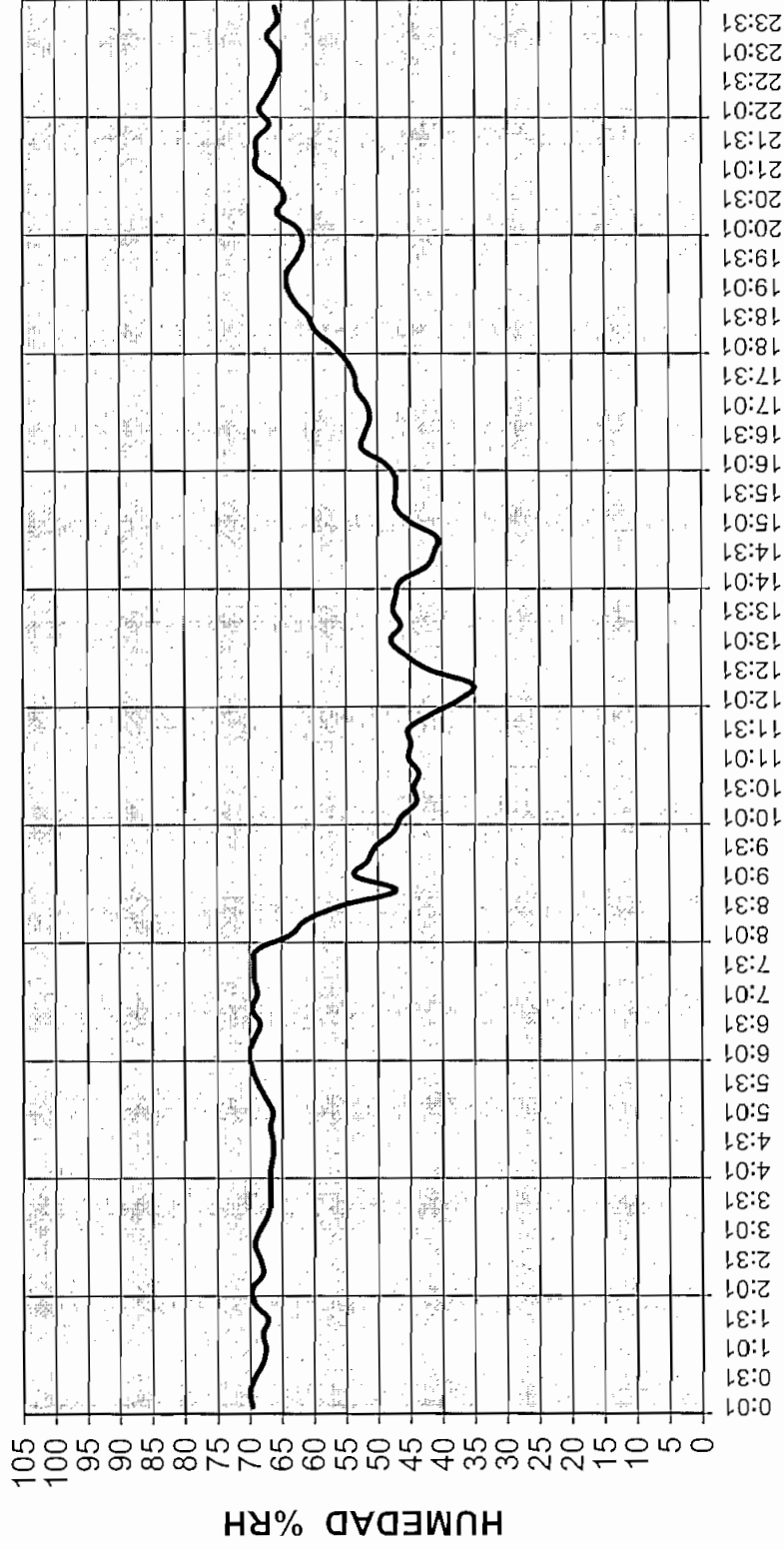
# REGISTRO DE TEMPERATURA

UBICACIÓN: PEAJE MANUEL CORDOVA GALARZA



FECHA 08/09/1999

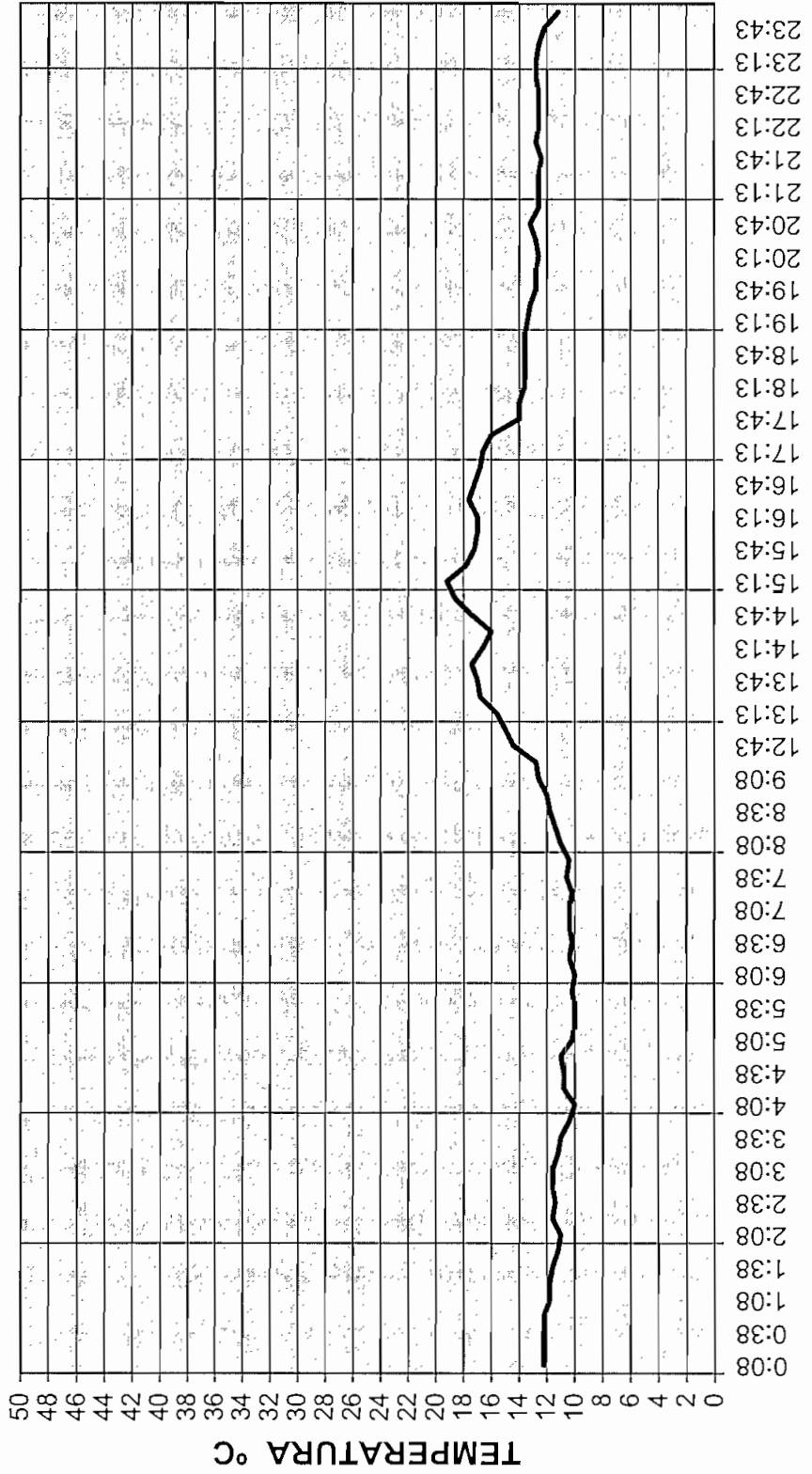
**REGISTRO DE HUMEDAD RELATIVA**  
**UBICACION: PEAJE MANUEL CORDOVA GALARZA**



**FECHA 08/09/1999**

# REGISTRO DE TEMPERATURA

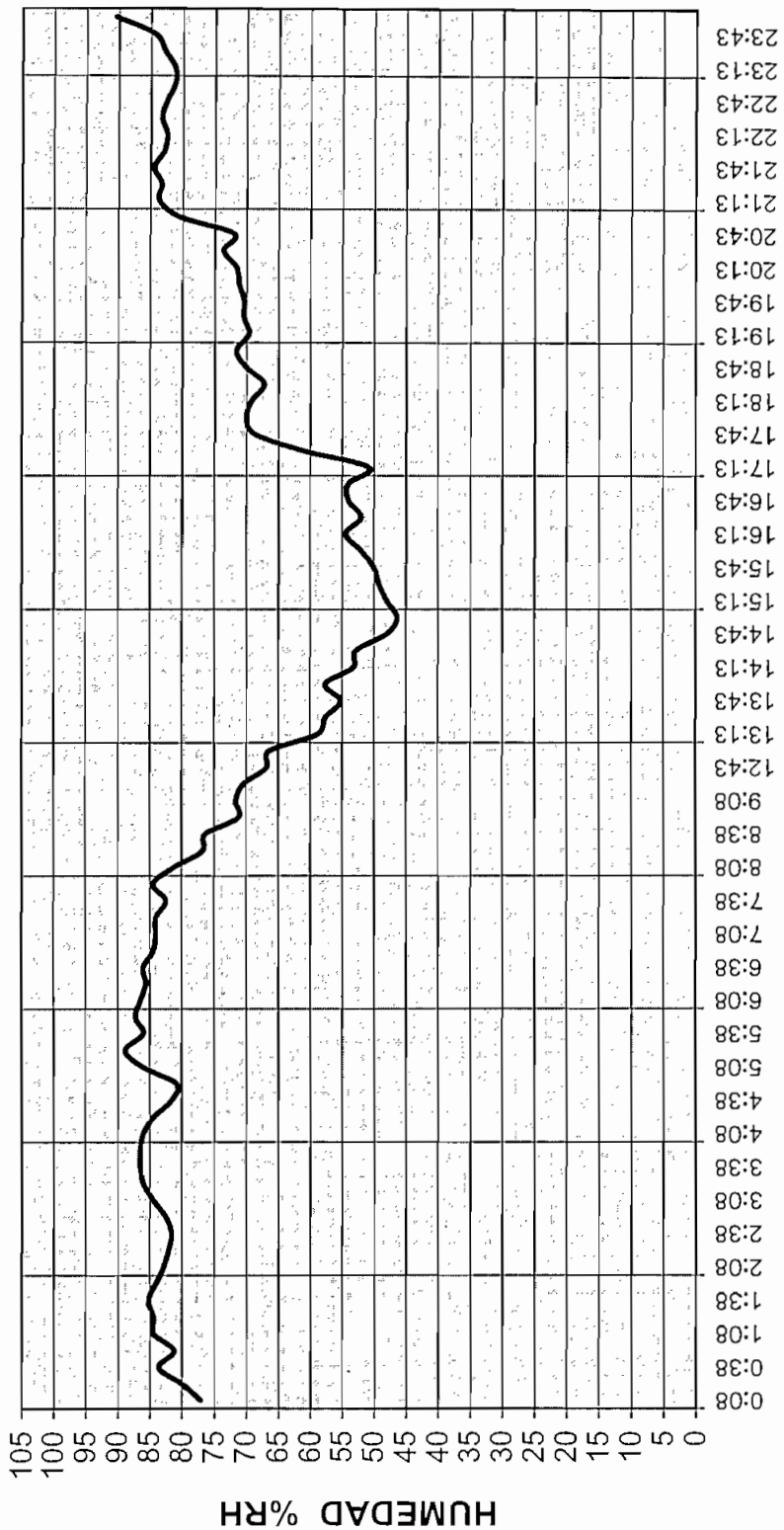
UBICACIÓN: TUNELES EL TEJAR



FECHA 21/09/1999

# REGISTRO DE HUMEDAD RELATIVA

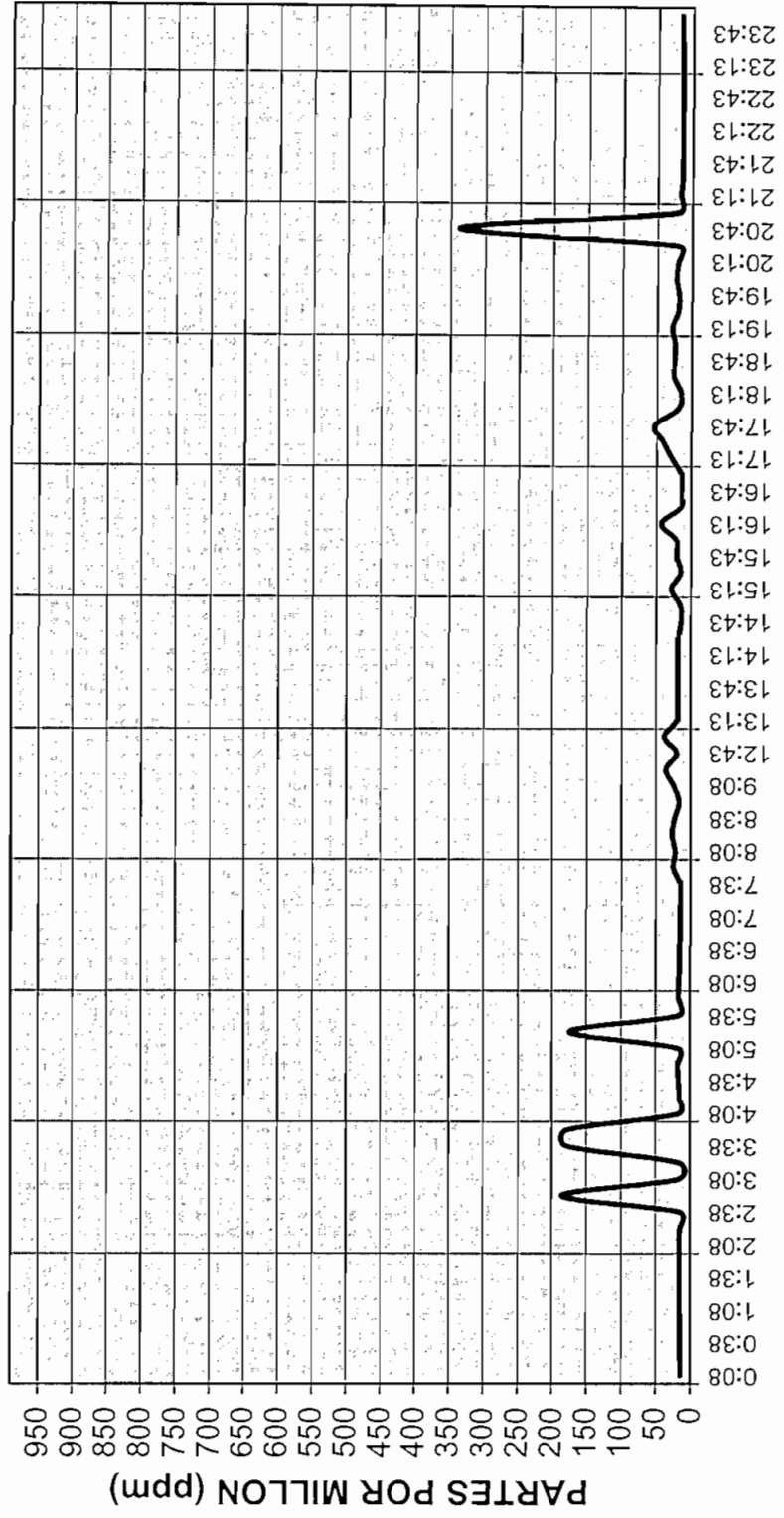
UBICACION: TUNELES EL TEJAR



FECHA 21/09/1999

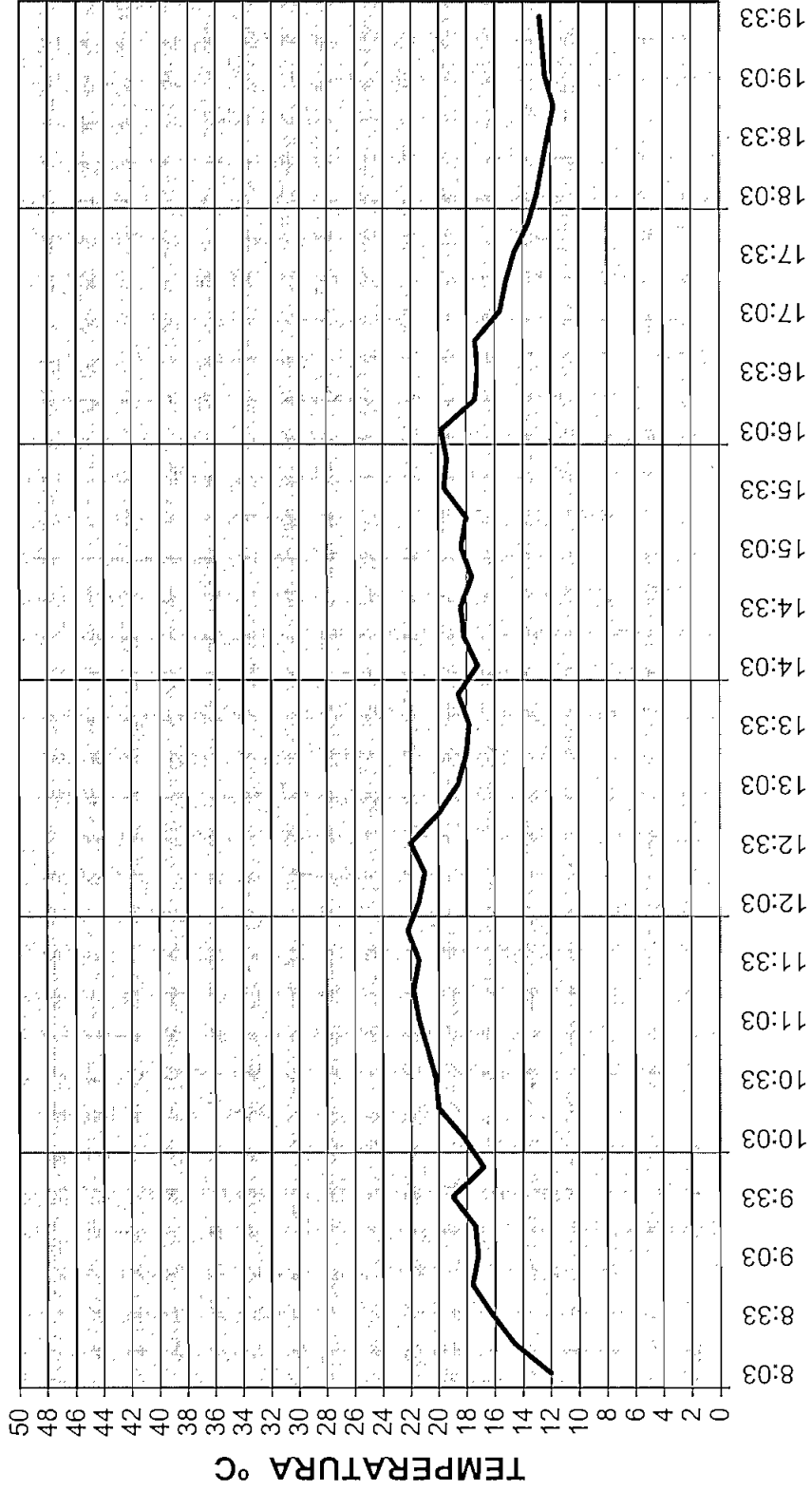
# REGISTRO DE MONOXIDO DE CARBONO

UBICACION: TUNELES EL TEJAR



FECHA 21/09/1999

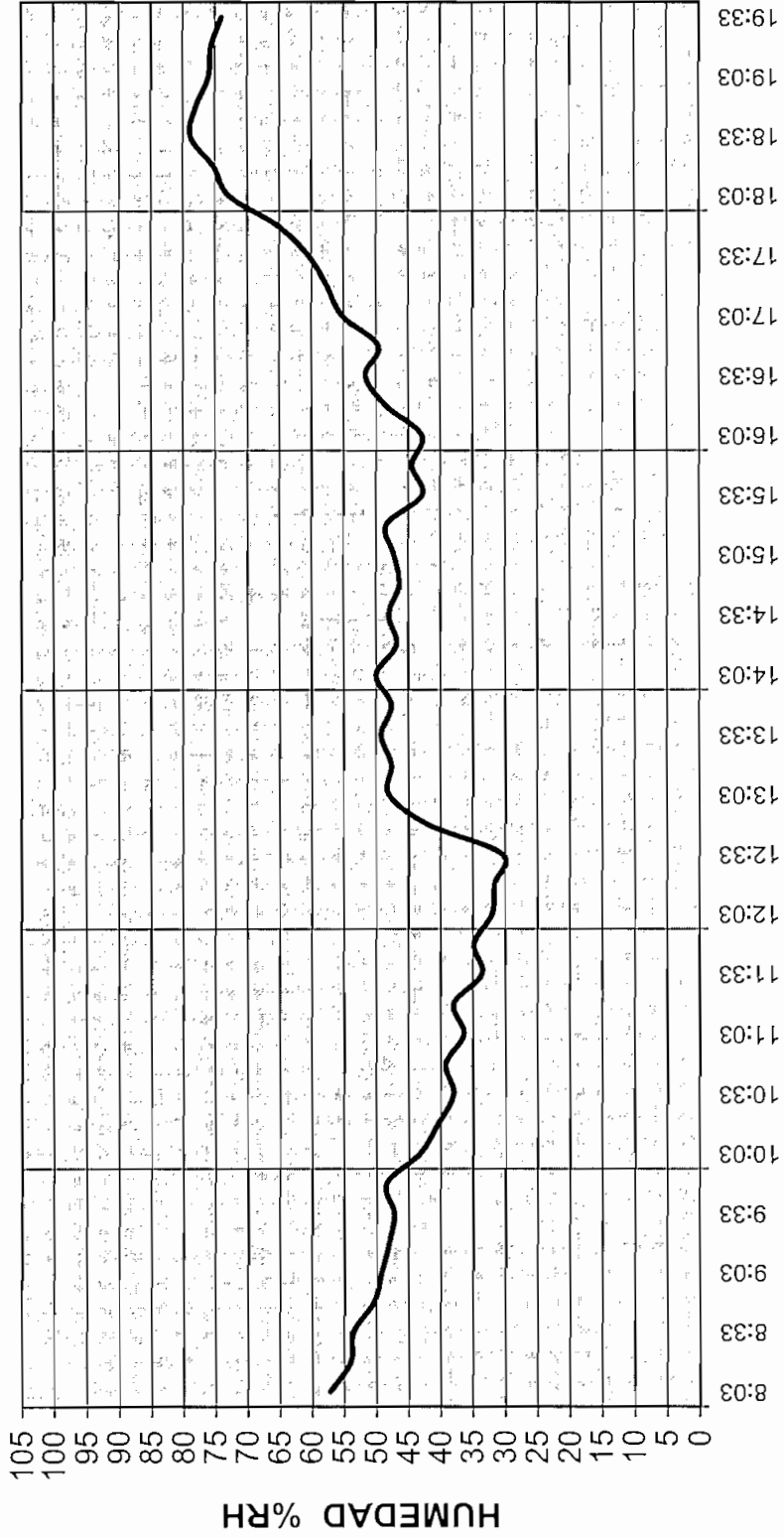
**REGISTRO DE TEMPERATURA**  
 UBICACIÓN: SECTOR LA "Y"



FECHA 24/09/1999

# REGISTRO DE HUMEDAD RELATIVA

UBICACION: SECTOR LA "Y"

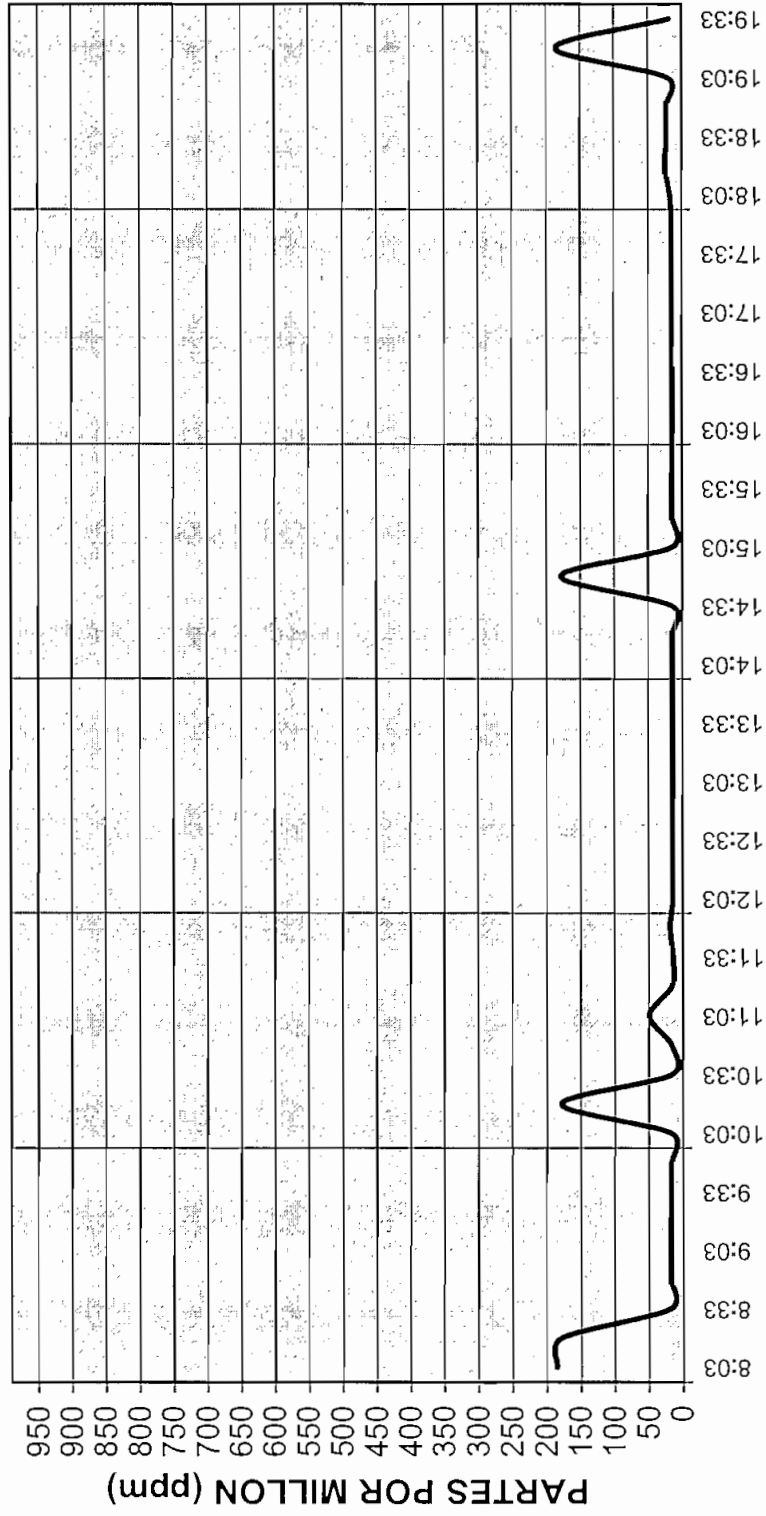


FECHA 24/09/1999



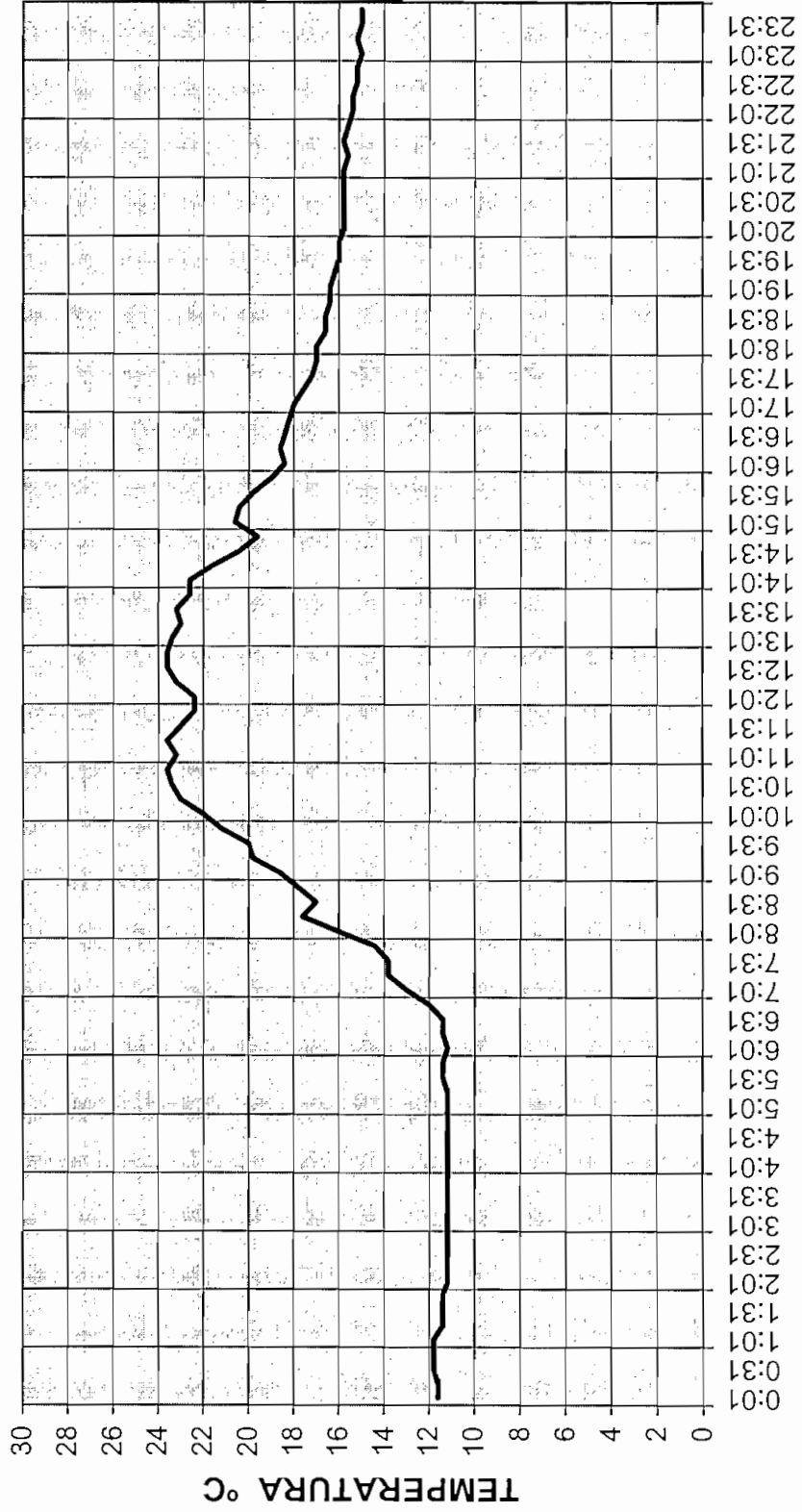
# REGISTRO DE MONOXIDO DE CARBONO

UBICACION: SECTOR LA "Y"



FECHA 24/09/1999

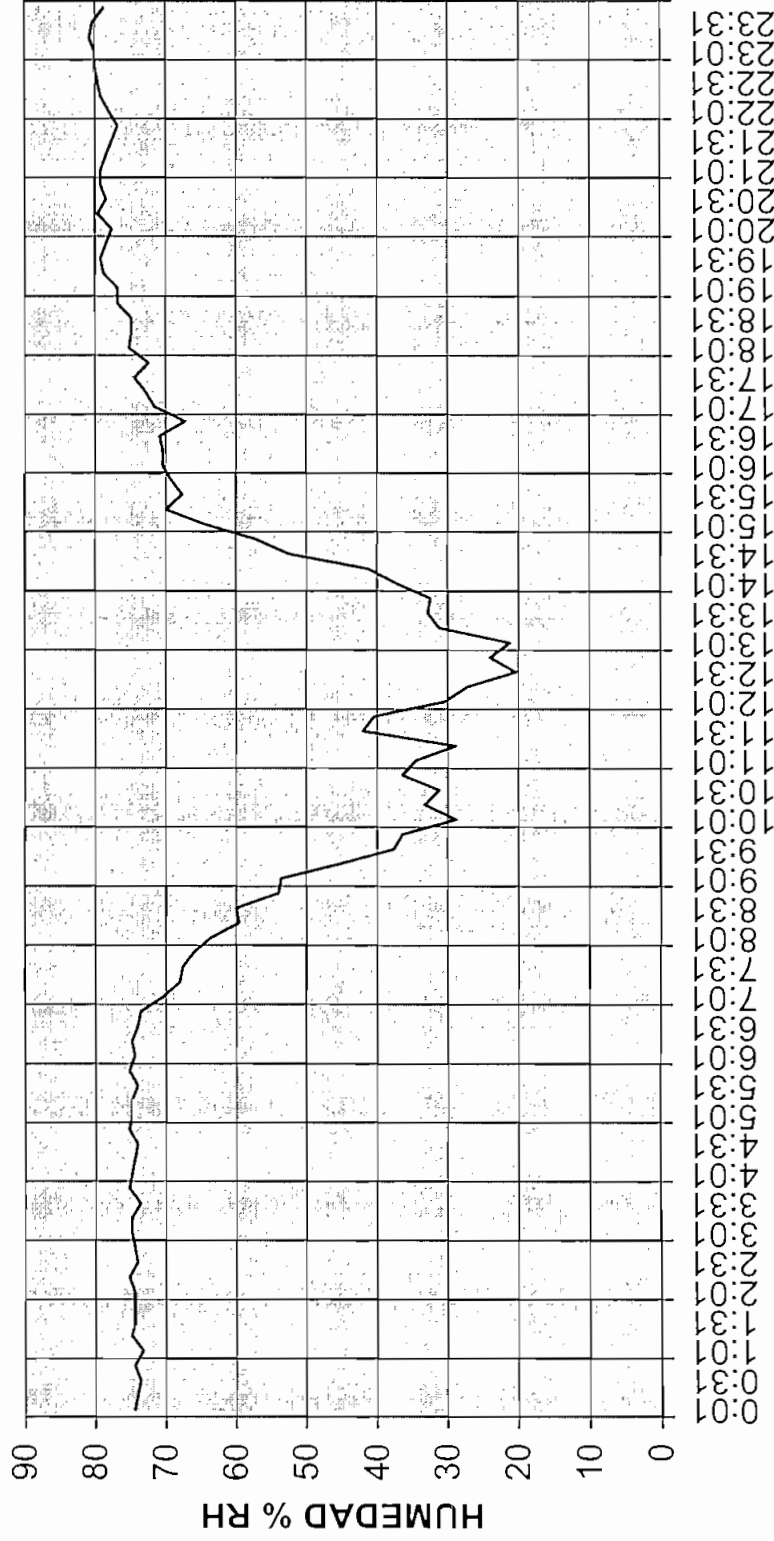
REGISTRO DE TEMPERATURA  
UBICACIÓN: SAN BLAS



FECHA 03/10/1999

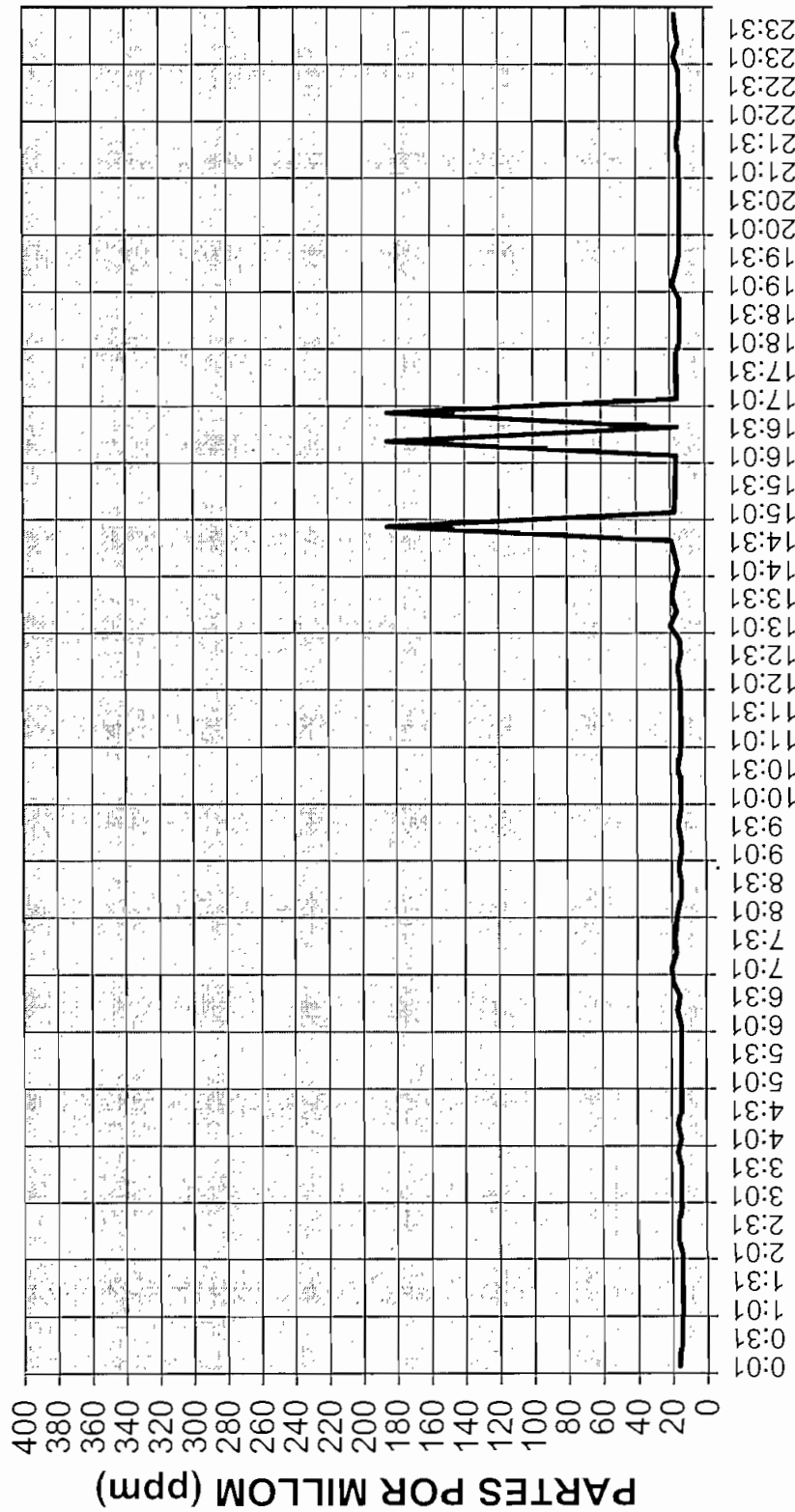
# REGISTRO DE HUMEDAD RELATIVA

UBICACIÓN: SAN BLAS



FECHA 03/10/1999

**REGISTRO DE MONOXIDO DE CARBONO**  
**UBICACIÓN: SAN BLAS**



**FECHA 03/10/1999**

## **4.2 ANALISIS DE DATOS PARA EL SERVICIO AL USUARIO.**

En la ciudad de Quito, el análisis y control de la contaminación lo realiza un organismo especializado y en este caso en particular de la contaminación del aire, como producto de los escapes de los automotores; en este sentido el equipo diseñado, al posibilitar el registro de la cantidad de CO, va a constituir un apoyo a las soluciones de investigación de este organismo y de otros que se preocupen de este problema en el País.

Por otra parte, los datos que son entregados ya procesados en un computador, como gráficas y tablas; son presentados de acuerdo a los valores instantáneos registrados cada 15 minutos, lo cual significa que el usuario debe ser una persona especializada en la temática, para que pueda hacer un buen uso de estos datos y en especial, conocer cual es la relación del monóxido de carbono, con las otras variables registradas; esto es, temperatura y humedad.

### **4.2.1 Selección del intervalo de mediciones.**

Para realizar el registro de las mediciones de las variables, es de mucha importancia la selección del intervalo de tiempo para la toma de las muestras a registrarse, lo cual será determinante para un posterior análisis de los datos.

El intervalo de tiempo tiene las siguientes restricciones: debe ser lo suficientemente pequeño por un lado, para que en el registro de las mediciones de las variables conste toda la información requerida para el estudio; y, por otro lado, no puede ser demasiado pequeño que signifique tanta información a registrar en tan poco tiempo lo que, por una parte no ayudaría en mucho al posterior análisis de los datos y además saturaría muy rápido la memoria.

Con los antecedentes expuestos la definición de los rangos para la toma de las muestras se lo ha establecido en 15, 30, 60 minutos, que por una parte son los intervalos con los cuales trabaja la Dirección de Medio Ambiente del Ilustre Municipio Metropolitano de Quito, así como los rangos con que se trabaja en los registros de variables en otros campos, como en el Sector Eléctrico; sin embargo, el equipo ofrece la facilidad de poder programar el intervalo de muestras entre 01 y 99 minutos.

Por otra parte según las recomendaciones del INSTRUMENTATION AND TECHNIQUES FOR EXHAUST GAS EMISSIONS MEASUREMENT- SAE J254; en cuanto al análisis de datos,

(Recomendación 4.2), se establece lo siguiente: En lo relativo a la obtención de las concentraciones de escapes de gas, en este caso, monóxido de carbono, se debe utilizar el método del muestreo para poder aplicarlo en función del voltaje de salida del sensor. Además, este método recomienda analizar el voltaje de salida, convertido en concentración, por cada uno de los datos en cada punto, evidenciando así, que estas muestras deben realizarse en intervalos específicos.

#### **4.2.2 El periodo de medición.**

El periodo de medición debe ser lo suficientemente extenso para producir resultados estadísticamente estables. Por ejemplo, mediciones realizadas en un solo día, en periodos de prueba, se pudieron obtener reportes demostrativos de una estabilización de la curva; es decir que este es un límite práctico para su respectivo análisis. Si el periodo de medición que se requiere es mayor, no hay ningún problema, en vista de que el equipo puede almacenar hasta 3767 registros. Al tomarse estas mediciones en intervalos de 15 minutos, duraría un periodo ininterrumpido de 14 días aproximadamente.

Tomando en cuenta que si los intervalos de tiempo de las muestras son mayores, tales como 30, 60 y 90, también se incrementa el periodo total de toma de muestras en relación directa.

#### **4.3 CONCLUSIONES.**

- El sistema diseñado, que se encuentra constituido por el equipo de registro y el programa de procesamiento de la información adquirida constituye una herramienta importante para la medición de las variables: temperatura, humedad y monóxido de carbono, en la perspectiva de ayudar al control de la contaminación del aire.
- Con el propósito de que la información almacenada, pueda ser interpretada por los usuarios de mejor manera, el equipo tiene la facilidad de almacenar el valor de las mediciones de las variables de temperatura, humedad, monóxido de carbono, en forma individual o en conjunto y descargar a un computador para su análisis en función de la base de datos.
- Por otra parte, y como una alternativa para aplicaciones en que no sean suficientes los intervalos de muestras antes indicadas, como en el caso de registros con fines investigativos, el equipo ofrece la facilidad de almacenar la fecha, hora y programar el intervalo de tiempo desde 01 hasta 99 minutos, con un límite de 3767 medidas, antes de que aparezca el mensaje

**memoria llena.** El prototipo trabaja, sin perder la información guardada, hasta el momento que se decida descargar o borrar los datos de la memoria del mismo.

- La funcionalidad y utilidad de este equipo (EMCA) se pondrá de manifiesto cuando el usuario disponga de una buena base de datos de los registros realizados de los tres sensores instalados, y como consecuencia de ello, se logre obtener un análisis real de la calidad de aire en un punto determinado en base a las estadísticas.
- Se debe considerar que este equipo es uno de los primeros aportes locales en el área; sin embargo, cabe hacer notar que las instituciones interesadas en la temática cuentan con equipos similares, pero su costo es muy elevado. También es importante destacar que no existen estudios sobre el impacto de la contaminación ambiental ocasionada por emisiones de gases tóxicos, como el monóxido de carbono, expedido por vehículos a gasolina y diesel y su efecto sobre la salud en base a datos estadísticos. Con los resultados obtenidos en el presente trabajo, los organismos encargados del control de contaminación van a disponer de una buena herramienta para el cumplimiento de sus objetivos.
- Es importante destacar que el prototipo utiliza el conversor A/D ADC0808 de 8 bit, por lo tanto dispone de 256 posibles divisiones de conversión, ocho canales de ingreso, y que se puede programar al microcontrolador de acuerdo al rango de medición de cada sensor implementado, como es el caso de los sensores de temperatura y humedad donde se utiliza la relación directa en vista de que tienen salidas de voltaje lineales y que el rango de conversión de 0 a 255, se adapta perfectamente a la respuesta de dichos sensores; no así el sensor de monóxido de carbono para el que es necesario utilizar una tabla en función de la ecuación dada por el fabricante, adaptando al rango de 0 a 255 que permite al conversor. En este sentido, el prototipo presenta una limitación, pero que podría ser superada al construir un equipo similar, utilizando conversores A/D de mayores resoluciones, como es el caso de 12 bits, disponiéndose de esta forma de 4096 divisiones y por lo tanto de una mayor precisión.
- El EMCA es un equipo de medición y almacenamiento, que junto a los sensores, conforman un prototipo altamente competitivo, pues cumple con las normas técnicas requeridas para su aplicación así como una alta confiabilidad, constituyéndose por lo tanto, en un aporte de la ingeniería nacional en este campo. El EMCA está equipado con tres sensores; estos son de temperatura, humedad y monóxido de carbono y puede ser ampliado a futuro con cinco sensores adicionales, que podrían ser: de dirección del viento, de gases combustibles, de óxidos de nitrógeno, de opacidad, y otros, los mismos que son de gran importancia en el

control de la contaminación del aire; en todo caso, el rediseño e integración de otros sensores o variables ambientales a ser monitoreadas, significa el que primero se establezcan acuerdos con los organismos encargados del control de contaminación, para interesarles en su desarrollo.

#### **4.4 RECOMENDACIONES.**

- Con los resultados obtenidos de las mediciones de temperatura, humedad y monóxido de carbono existentes en el medio ambiente, es necesario disponer de un estudio completo, el mismo que permita determinar los modelos matemáticos e integre las relaciones que existen entre las variables que se esté registrando.
- Es importante, tener presente las características y limitaciones establecidas para el equipo, ya que el buen entendimiento de ellas, permitirán explotar al máximo las ventajas del mismo.
- Otro aspecto importante, es aplicarlo a fin de establecer el estado de contaminación a fin de verificar la calidad del aire y comprobar si cumple con el artículo II.374 del Registro Oficial Nro. 226 publicado el Miércoles 31 de Diciembre de 1997. estipulada por el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, cuya copia se incluye en los anexos.
- En el sentido expuesto, se pueden entregar los resultados que se obtengan del monitoreo de contaminación a los medios de comunicación, para de esta forma contribuir a la educación de la sociedad en la preservación del medio ambiente.
- El EMCA posee un display de color rojo por medio del cual se registra los valores que toma el sensor de monóxido de carbono, los cuales son valores promedio referenciales que aparecen cada 2.5 minutos, para la aplicación del equipo no se los debe tomar en cuenta porque se trabaja con mediciones instantáneas.
- Es indispensable tomar en consideración de que al momento de aplicar el equipo para el monitoreo de las condiciones de contaminación por monóxido de carbono, el mismo va estar a la intemperie y que por lo tanto se deben observar las recomendaciones que constan en el manual de uso del mismo; a fin de, por una parte proteger al equipo y por otra obtener resultados confiables.



- Por último es recomendable que se continúe trabajando en el tema, puede ser a través de otras tesis de grado, para obtener un equipo de mayor precisión y además, como se señaló, con un programa de procesamiento de la información registrada que entregue resultados, que a su vez interrelacionan a las variables involucradas.

## BIBLIOGRAFIA

- G. BRECHMANN, DZIEIA, HÖRNEMANN, HÜBSCHER, JAGLA, KLAUE, PETERSEN,  
" *Prontuario de Electricidad-Electrónica*", España 1995 Paraninfo.
- JOHN P. HAYES,  
" *Diseño de Sistemas Digitales y Microprocesadores*", México 1988 McGraw-Hill.
- RONALD J. TOCCI,  
" *Sistemas Digitales*", Sexta edición, México 1996 Prentice-Hall Hispanoamerica S.A.
- KENDALL & KENDALL,  
" *Análisis y Diseño de Sistemas*", México 1991.
- ROBERT F. COUGHLIN, FREDERICK F. DRISCOLL,  
" *Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales*", Cuarta edición,  
México 1993 Prentice-Hall Hispanoamerica S.A.
- C.J. SAVANT,JR, MARTIN S. RODEN, GORDON L. CARPENTER,  
" *Diseño Electrónico*", Segunda edición, Estados Unidos 1992 Addison-Wesley  
Iberoamericana.
- ALBERT PAUL MALVINO,  
" *Principios de Electrónica*", Tercera edición, México 1986 McGraw-Hill.
- BARRY B. BREY,  
" *Intel* ", Tercera edición, México 1995 Prentice-Hall Hispanoamericana S.A.
- JOSE ADOLFO GONZALEZ,  
" *Introducción a los microcontroladores* ", México, McGraw-Hill
- FRANCÍS SEARS,  
" *Física* ", Tercera edición, México 1966 Aguilar.

# ANEXOS

# ANEXOS

A.1 INFORMACION TECNICA

B.1 INFORMACION NORMATIVA

ANEXO A.1

INFORMACION TECNICA



# ADC0808, ADC0809 8-Bit $\mu$ P Compatible A/D Converters With 8-Channel Multiplexer

## General Description

The ADC0808, ADC0809 data acquisition component is a monolithic CMOS device with an 8-bit analog-to-digital converter, 8-channel multiplexer and microprocessor compatible control logic. The 8-bit A/D converter uses successive approximation as the conversion technique. The converter features a high impedance chopper stabilized comparator, a 256R voltage divider with analog switch tree and a successive approximation register. The 8-channel multiplexer can directly access any of 8 single-ended analog signals.

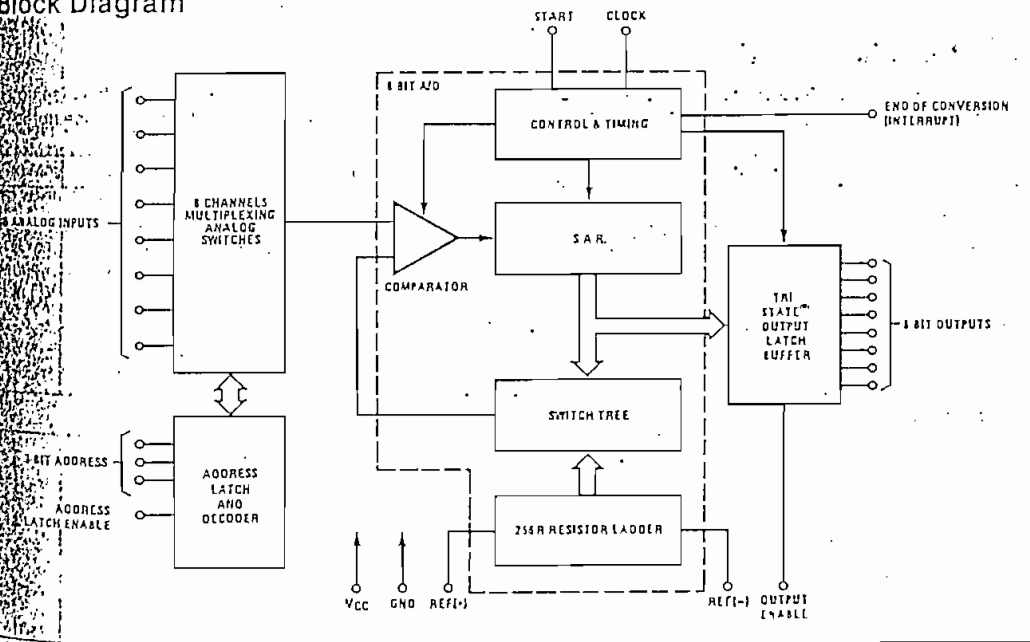
The device eliminates the need for external zero and full-scale adjustments. Easy interfacing to microprocessors is provided by the latched and decoded multiplexer address inputs and latched TTL TRI-STATE<sup>®</sup> outputs.

The design of the ADC0808, ADC0809 has been optimized by incorporating the most desirable aspects of several A/D conversion techniques. The ADC0808, ADC0809 offer high speed, high accuracy, minimal temperature dependence, excellent long-term accuracy and repeatability, and consumes minimal power. These features make this device ideally suited to applications from process and machine control to consumer and automotive applications. For 16-channel multiplexer with common output (sample/hold port) see ADC0815 data sheet.

## Features

- Resolution — 8-bits
- Total unadjusted error —  $\pm 1/2$  LSB and  $\pm 1$  LSB
- No missing codes
- Conversion time — 100  $\mu$ s
- Single supply — 5 V<sub>DC</sub>
- Operates ratiometrically or with 5 V<sub>DC</sub> or analog span adjusted voltage reference
- 8-channel multiplexer with latched control logic
- Easy Interface to all microprocessors, or operates "stand alone"
- Outputs meet T<sup>2</sup>L voltage level specifications
- 0V to 5V analog input voltage range with single 5V supply
- No zero or full-scale adjust required
- Standard hermetic or molded 28-pin DIP package
- Temperature range — 40°C to +85°C or —55°C to +125°C
- Low power consumption — 15 mW
- Latched TRI-STATE<sup>®</sup> output

## Block Diagram



ADC0808, ADC0809

### Absolute Maximum Ratings (Notes 1 and 2)

Supply Voltage ( $V_{CC}$ ) (Note 3)	6.5V
Voltage at Any Pin Except Control Inputs	-0.3V to ( $V_{CC} + 0.3V$ )
Voltage at Control Inputs (START, OE, CLOCK, ALE, ADD_A, ADD_B, ADD_C)	-0.3V to +15V
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Package Dissipation at $T_A = 25^\circ\text{C}$	875 mW
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	300°C

### Operating Ratings (Notes 1 and 2)

Temperature Range (Note 1)	ADC0808CJ ADC0808CCJ, ADC0808CCN, ADC0809CCN
Range of $V_{CC}$ (Note 1)	

### Electrical Characteristics

Converter Specifications:  $V_{CC} = 5V$ ,  $V_{DC} = V_{REF(+)}$ ,  $V_{REF(-)} = \text{GND}$ ,  $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$  and  $f_{CLK} = 640 \text{ kHz}$  unless otherwise stated.

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max
ADC0808 Total Unadjusted Error (Note 5)	25°C $T_{MIN}$ to $T_{MAX}$			$\pm 1/2$ $\pm 3/4$
ADC0809 Total Unadjusted Error (Note 5)	0°C to 70°C $T_{MIN}$ to $T_{MAX}$			$\pm 1$ $\pm 1 1/4$
Input Resistance	From Rel(+) to Rel(-)	1.0	2.5	
Analog Input Voltage Range	(Note 4) V(+) or V(-)	GND-0.10		$V_{CC} + 0.1$
$V_{REF(+)}$ Voltage, Top of Ladder	Measured at Rel(+)		$V_{CC}$	$V_{CC} + 0.1$
$\frac{V_{REF(+)} + V_{REF(-)}}{2}$ Voltage, Center of Ladder		$V_{CC}/2 - 0.1$	$V_{CC}/2$	$V_{CC}/2 + 0.1$
$V_{REF(-)}$ Voltage, Bottom of Ladder	Measured at Rel(-)	-0.1	0	
Comparator Input Current	$I_C = 640 \text{ kHz}$ , (Note 6)	-2	$\pm 0.5$	

### Electrical Characteristics

Digital Levels and DC Specifications: ADC0808CJ  $4.5V \leq V_{CC} \leq 5.5V$ ,  $-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$  unless otherwise noted. ADC0808CCJ, ADC0808CCN, and ADC0809CCN  $4.75 \leq V_{CC} \leq 5.25V$ ,  $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$  unless otherwise noted.

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max
<b>ANALOG MULTIPLEXER</b>				
$I_{OFF(+)}$	OFF Channel Leakage Current $V_{CC} = 5V$ , $V_{IN} = 5V$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_{MIN}$ to $T_{MAX}$		10	200
$I_{OFF(-)}$	OFF Channel Leakage Current $V_{CC} = 5V$ , $V_{IN} = 0$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_{MIN}$ to $T_{MAX}$	-200 -1.0	-10	
<b>CONTROL INPUTS</b>				
$V_{IH(1)}$	Logical "1" Input Voltage		$V_{CC} - 1.5$	
$V_{IH(0)}$	Logical "0" Input Voltage			1.5
$I_{IH(1)}$	Logical "1" Input Current (The Control Inputs)	$V_{IH} = 15V$		1.0
$I_{IH(0)}$	Logical "0" Input Current (The Control Inputs)	$V_{IH} = 0$	-1.0	
$I_{CC}$	Supply Current	$f_{CLK} = 640 \text{ kHz}$	0.3	3.0

### Electrical Characteristics (Continued)

Levels and DC Specifications: ADC0808CJ  $4.5V \leq V_{CC} \leq 5.5V$ ,  $-55^{\circ}C \leq T_A \leq +125^{\circ}C$  unless otherwise noted  
 ADC0808CCJ, ADC0808CCN, and ADC0809CCN  $4.75 \leq V_{CC} \leq 5.25V$ ,  $-40^{\circ}C \leq T_A \leq +85^{\circ}C$  unless otherwise noted

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
<b>OUTPUTS AND EOC (INTERRUPT)</b>					
Logical "1" Output Voltage	$I_O = -360 \mu A$	$V_{CC}-0.4$			V
Logical "0" Output Voltage	$I_O = 1.6 \text{ mA}$			0.45	V
Logical "0" Output Voltage EOC	$I_O = 1.2 \text{ mA}$			0.45	V
TRI-STATE Output Current	$V_O = 5V$ $V_O = 0$	-3		3	$\mu A$ $\mu A$

### Electrical Characteristics

Specifications:  $V_{CC} = V_{REF(+)} = 5V$ ,  $V_{REF(-)} = GND$ ,  $t_r = t_f = 20 \text{ ns}$  and  $T_A = 25^{\circ}C$  unless otherwise noted.

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
Minimum Start Pulse Width	(Figure 5)		100	200	ns
Minimum ALE Pulse Width	(Figure 5)		100	200	ns
Minimum Address Set-Up Time	(Figure 5)		25	50	ns
Minimum Address Hold Time	(Figure 5)		25	50	ns
Analog MUX Delay Time From ALE	$R_S = 0\Omega$ (Figure 5)		1	2.5	$\mu s$
OE Control to O Logic State	$C_L = 50 \text{ pF}$ , $R_L = 10k$ (Figure 8)		125	250	ns
OE Control to Hi-Z	$C_L = 10 \text{ pF}$ , $R_L = 10k$ (Figure 8)		125	250	ns
Conversion Time	$f_c = 640 \text{ kHz}$ , (Figure 5) (Note 7)	90	100	116	$\mu s$
Clock Frequency		10	640	1280	kHz
EOC Delay Time	(Figure 5)	0		$8 + 2 \mu s$	Clock Periods
Input Capacitance	AI Control Inputs		10	15	pF
TRI-STATE <sup>®</sup> Output Capacitance	AI TRI-STATE <sup>®</sup> Outputs, (Note 12)		10	15	pF

Absolute maximum ratings are those values beyond which the life of the device may be impaired.

All voltages are measured with respect to GND, unless otherwise specified.

A Zener diode exists, internally, from  $V_{CC}$  to GND and has a typical breakdown voltage of  $7 V_{DC}$ .

Two on-chip diodes are tied to each analog input which will forward conduct for analog input voltages one diode drop below ground or one diode drop above the  $V_{CC}$  supply. The spec allows 100 mV forward bias of either diode. This means that as long as the analog  $V_{IN}$  does not exceed the supply by more than 100 mV, the output code will be correct. To achieve an absolute 0  $V_{DC}$  to  $5 V_{DC}$  input voltage range will therefore require a minimum supply of  $4.500 V_{DC}$  over temperature variations, initial tolerance and loading.

Total unadjusted error includes offset, full-scale, linearity, and multiple error. See Figure 3. None of these A/Ds requires a zero or full-scale adjust. In all zero codes desired for an analog input other than 0.0V, or if a narrow full-scale span exists (for example: 0.5V to 4.5V full-scale) the reference can be adjusted to achieve this. See Figure 13.

Comparator input current is a bias current into or out of the chopper stabilized comparator. The bias current varies directly with clock frequency and temperature dependence (Figure 6). See paragraph 4.0.

The outputs of the data register are updated one clock cycle before the rising edge of EOC.



## Functional Description

**Multiplexer:** The device contains an 8-channel single-ended analog signal multiplexer. A particular input channel is selected by using the address decoder. Table I shows the input states for the address lines to select any channel. The address is latched into the decoder on the low-to-high transition of the address latch enable signal.

TABLE I

SELECTED ANALOG CHANNEL	ADDRESS LINE		
	C	B	A
IN0	L	L	L
IN1	L	L	H
IN2	L	H	L
IN3	L	H	H
IN4	H	L	L
IN5	H	L	H
IN6	H	H	L
IN7	H	H	H

### CONVERTER CHARACTERISTICS

#### The Converter

The heart of this single chip data acquisition system is its 8-bit analog-to-digital converter. The converter is designed

to give fast, accurate, and repeatable conversion over a wide range of temperatures. The converter is divided into 3 major sections: the 256R ladder network, the successive approximation register, and the comparator. The converter's digital outputs are positive true.

The 256R ladder network approach (Figure 1) is superior to the conventional R/2R ladder because of its monotonicity, which guarantees no missing codes. Monotonicity is particularly important in closed-loop control systems. A non-monotonic relationship can cause oscillations that will be catastrophic in a control system. Additionally, the 256R network does not load the reference voltage.

The bottom resistor and the top resistor of the ladder network in Figure 1 are not the same value as the remainder of the network. The difference in resistor values causes the output characteristic to be non-linear with the zero and full-scale points of the transfer curve. The first output transition occurs when the input signal has reached +1/2 LSB and successive transitions occur every 1 LSB thereafter up to full scale.

The successive approximation register (SAR) iterates to approximate the input voltage. For an n-bit converter, n iterations are required for the SAR to converge. Figure 2 shows a typical example of a SAR converter. In the ADC0808, ADC0809, the SAR technique is extended to 8 bits using the 256

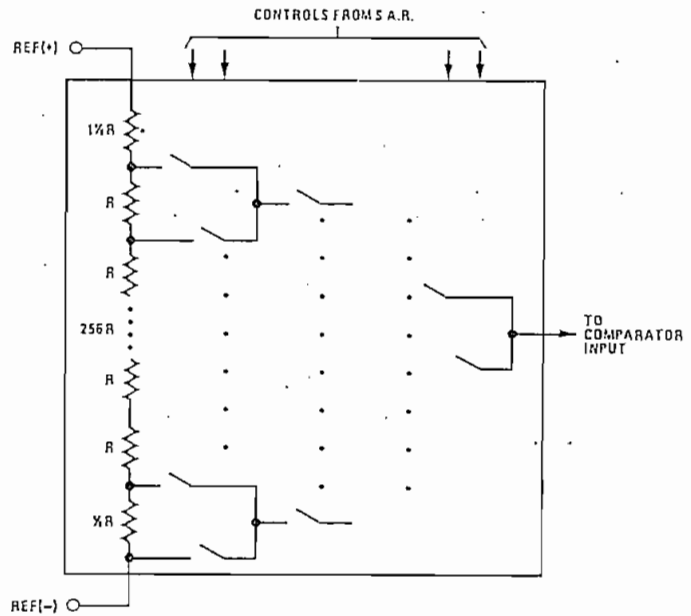


FIGURE 1. Resistor Ladder and Switch Tree

Functional Description (Continued)

The A/D converter's successive approximation register is reset on the positive edge of the start conversion pulse. The conversion is begun on the falling edge of the start conversion pulse. A conversion in process will be aborted by receipt of a new start conversion pulse. A new conversion may be accomplished by tying the EOC output to the SC Input. If used in this mode, an external start conversion pulse should be provided after power up. End-of-conversion will go low between 0 and 8 clock pulses after the rising edge of start conversion.

The most important section of the A/D converter is the comparator. It is this section which is responsible for the resolution accuracy of the entire converter. It is also the

comparator drift which has the greatest influence on the repeatability of the device. A chopper-stabilized comparator provides the most effective method of satisfying all the converter requirements.

The chopper-stabilized comparator converts the DC input signal into an AC signal. This signal is then fed through a high gain AC amplifier and has the DC level restored. This technique limits the drift component of the amplifier since the drift is a DC component which is not passed by the AC amplifier. This makes the entire A/D converter extremely insensitive to temperature, long term drift and input offset errors.

Figure 4 shows a typical error curve for the ADC0808 as measured using the procedures outlined in AN-179.

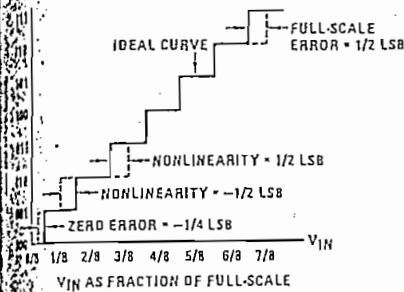


FIGURE 2. 3-bit A/D Transfer Curve

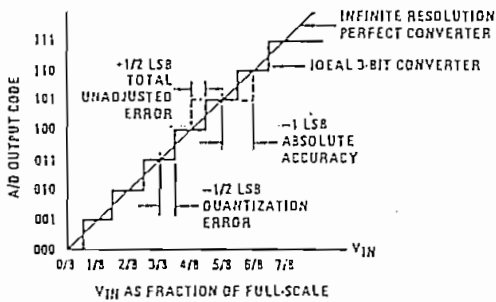


FIGURE 3. 3-bit A/D Absolute Accuracy Curve

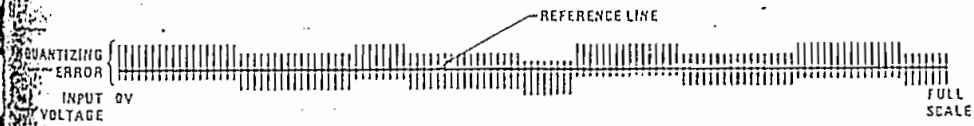
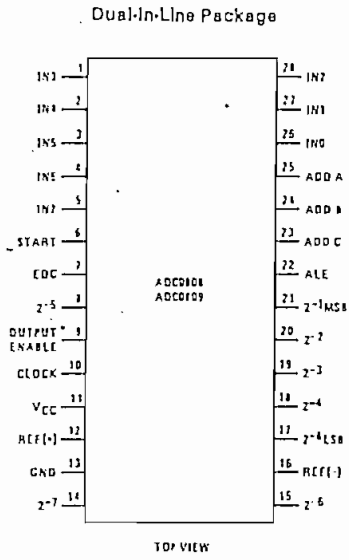


FIGURE 4. Typical Error Curve



Connection Diagram



Timing Diagram

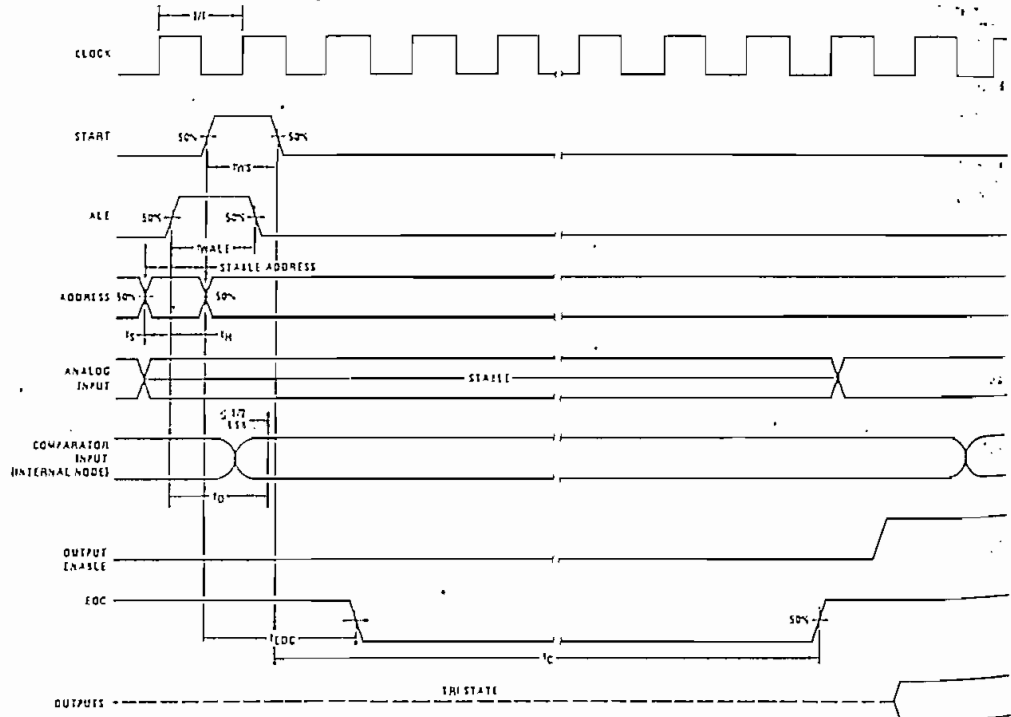


FIGURE 5

Performance Characteristics

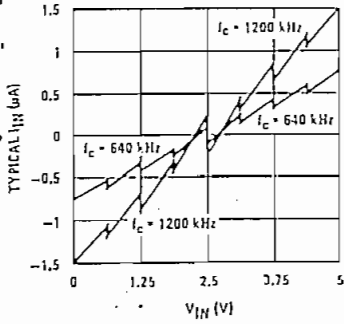


FIGURE 6. Comparator  $I_{IN}$  vs  $V_{IN}$  ( $V_{CC} = V_{REF} = 5V$ )

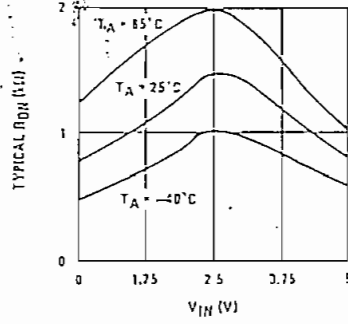


FIGURE 7. Multiplexer  $R_{ON}$  vs  $V_{IN}$  ( $V_{CC} = V_{REF} = 5V$ )

STATE<sup>®</sup> Test Circuits and Timing Diagrams

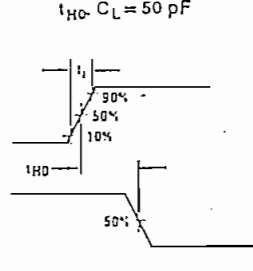
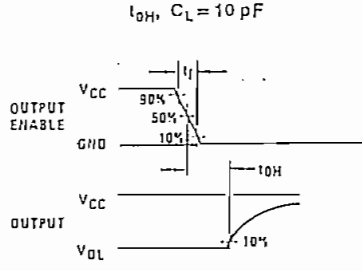
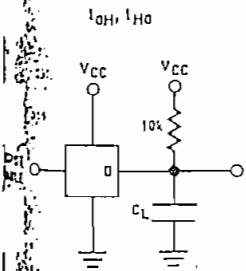
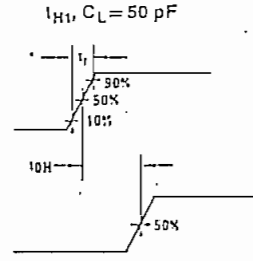
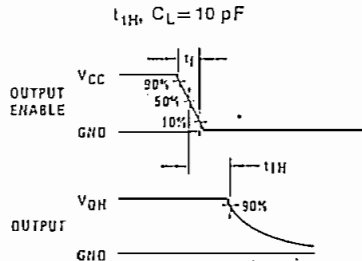
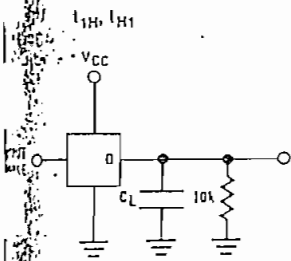


FIGURE 8

## Applications Information

### OPERATION

#### 1.0 Ratimetric Conversion

The ADC0808, ADC0809 is designed as a complete Data Acquisition System (DAS) for ratimetric conversion systems. In ratimetric systems, the physical variable being measured is expressed as a percentage of full-scale which is not necessarily related to an absolute standard. The voltage input to the ADC0808 is expressed by the equation

$$\frac{V_{IN}}{V_{FS} - V_Z} = \frac{D_X}{D_{MAX} - D_{MIN}} \quad (1)$$

$V_{IN}$  = Input voltage into the ADC0808

$V_{FS}$  = Full-scale voltage

$V_Z$  = Zero voltage

$D_X$  = Data point being measured

$D_{MAX}$  = Maximum data limit

$D_{MIN}$  = Minimum data limit

A good example of a ratimetric transducer is a potentiometer used as a position sensor. The position of the wiper is directly proportional to the output voltage which is a ratio of the full-scale voltage across it. Since the data is represented as a proportion of full-scale, reference requirements are greatly reduced, eliminating a large source of error and cost for many applications. A major advantage of the ADC0808, ADC0809 is that the input voltage range is equal to the supply range so the transducers can be connected directly across the supply and their outputs connected directly into the multiplexer inputs, (Figure 9).

Ratimetric transducers such as potentiometer gauges, thermistor bridges, pressure transducers are suitable for measuring proportional reference however, many types of measurements must be referred to an absolute standard such as voltage or current means a system reference must be used with the full-scale voltage to the standard volt. For  $V_{CC} = V_{REF} = 5.12V$ , then the full-scale range is 256 standard steps. The smallest standard LSB which is then 20 mV.

#### 2.0 Resistor Ladder Limitations

The voltages from the resistor ladder are compared to the selected input 8 times in a conversion. These are coupled to the comparator via an analog switch which is referenced to the supply. The voltages at the top and bottom of the ladder must be controlled for proper operation.

The top of the ladder,  $Ref(+)$ , should not be more than the supply, and the bottom of the ladder should not be more negative than ground. The ladder voltage must also be near the center of the supply because the analog switch tree changes N-channel switches to P-channel switches. Tolerances are automatically satisfied in ratimetric systems and can be easily met in ground referenced systems.

Figure 10 shows a ground referenced system with separate supply and reference. In this system, the reference voltage must be trimmed to match the reference voltage. If a 5.12V is used, the supply should be the same voltage within 0.1V.

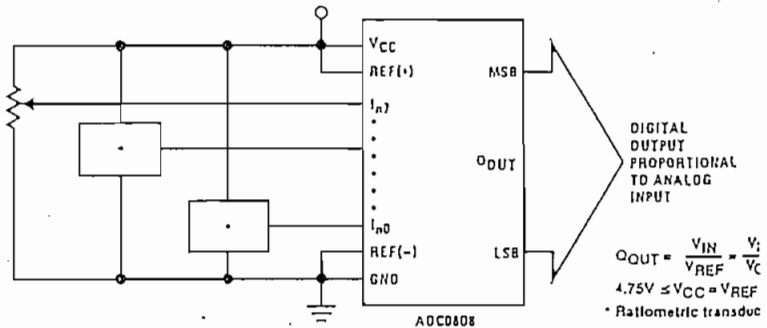


FIGURE 9. Ratimetric Conversion System

needs less than a millamp of supply current. The supply from the reference is readily obtained. In Figure 11 a ground referenced system is shown which generates the supply from the reference. The reference can be an op amp of sufficient drive to supply the millamp of supply current and the desired bus capacitance. A capacitive bus is driven by the outputs a large current will supply the transient supply current as seen in Figure 12. The LM301 is overcompensated to insure stability when loaded by the 10  $\mu$ F output capacitor.

The top and bottom ladder voltages cannot exceed  $V_{CC}$  and ground, respectively, but they can be symmetrically less than  $V_{CC}$  and greater than ground. The center of the ladder voltage should always be near the center of the supply. The sensitivity of the converter can be increased, (i.e., size of the LSB steps decreased) by using a symmetrical reference system. In Figure 13, a 2.5V reference is symmetrically centered about  $V_{CC}/2$  since the same current flows in identical resistors. This system with a 2.5V reference allows the LSB bit to be half the size of a 5V reference system.

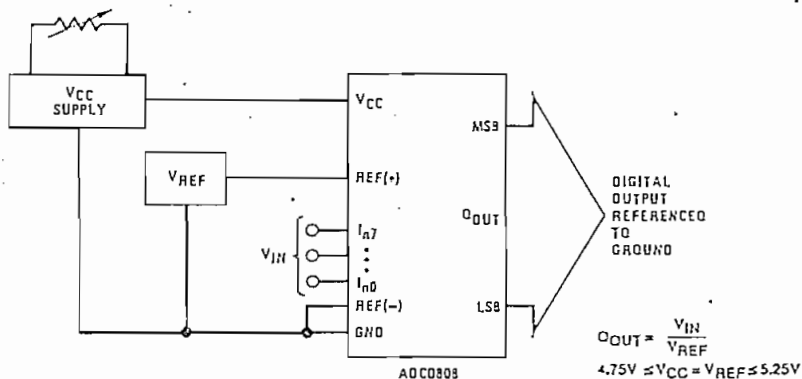


FIGURE 10. Ground Referenced Conversion System Using Trimmed Supply

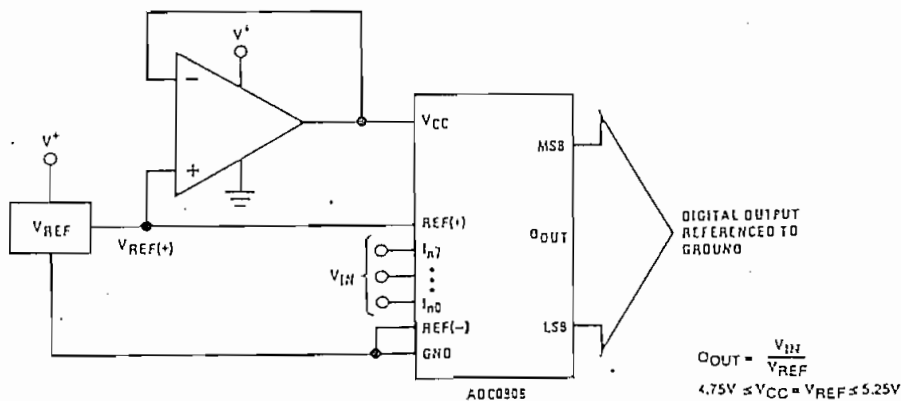


FIGURE 11. Ground Referenced Conversion System with Reference Generating  $V_{CC}$  Supply



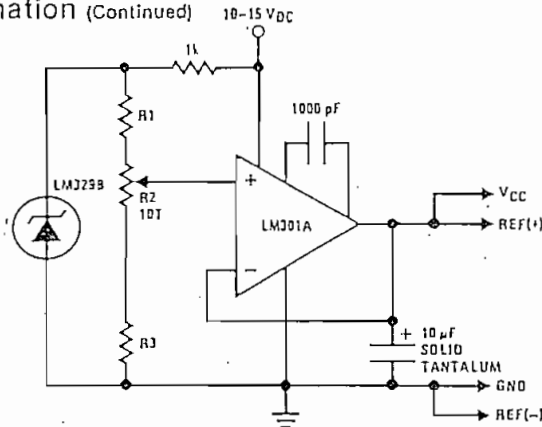


FIGURE 12. Typical Reference and Supply Circuit

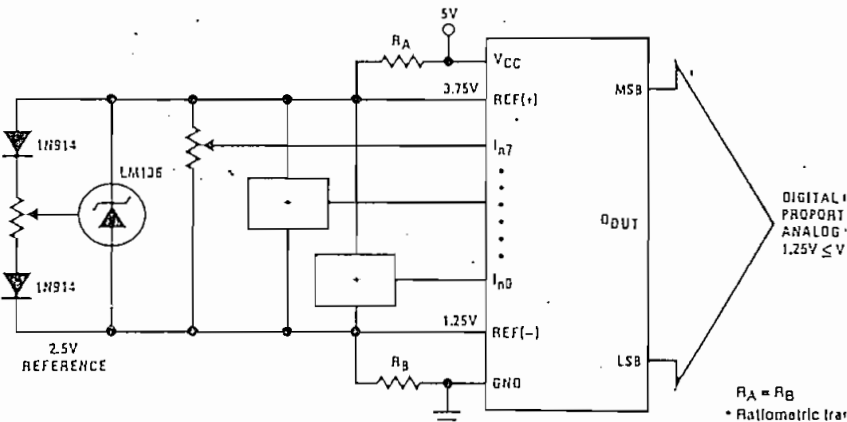


FIGURE 13. Symmetrically Centered Reference

3.0 Converter Equations

The transition between adjacent codes N and N + 1 is given by:

$$V_{IN} = \left( V_{REF(+)} - V_{REF(-)} \right) \left[ \frac{N}{256} + \frac{1}{512} \right] \pm V_{TUE} + V_{REF(-)} \quad (2)$$

The center of an output code N is given by:

$$V_{IN} = \left( V_{REF(+)} - V_{REF(-)} \right) \left[ \frac{N}{256} \right] \pm V_{TUE} + V_{REF(-)} \quad (3)$$

The output code N for an arbitrary input are the integers within the range:

$$N = \frac{V_{IN} - V_{REF(-)}}{V_{REF(+)} - V_{REF(-)}} \times 256 \pm \text{Absolute Accuracy} \quad (4)$$

- where:  $V_{IN}$  = Voltage at comparator input
- $V_{REF(+)}$  = Voltage at Ref(+)
- $V_{REF(-)}$  = Voltage at Ref(-)
- $V_{TUE}$  = Total unadjusted error voltage (typically  $V_{REF(-)} - 512$ )

4.0 Analog Comparator Inputs

The dynamic comparator input current periodic switching of on-chip stray capacitors are connected alternately to the output ladder/switch tree network and to the comparator input during the operation of the chopper stab

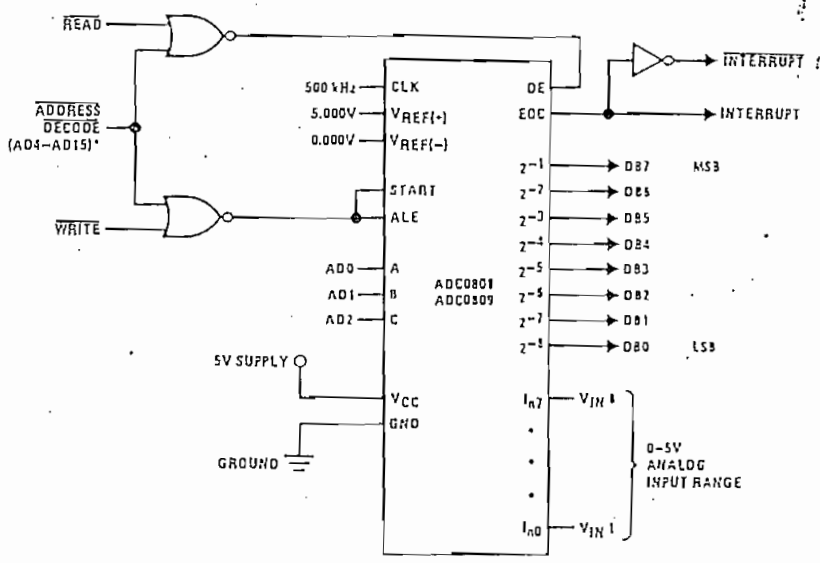
The average value of the comparator input current directly with clock frequency and with Figure 6.

If no filter capacitors are used at the analog signal source impedances are low, the current should not introduce converter error signal created by the capacitance discharge before the comparator output is strobed

If input filter capacitors are desired for and signal conditioning they will tend to reduce dynamic comparator input current. It will have characteristics of a DC bias current which is predicted conventionally.

# Application

ADC0808, ADC0809



\* Address latches needed for 8085 and SCIMP Interfacing the ADC0808 to a microprocessor

MICROPROCESSOR INTERFACE TABLE

PROCESSOR	READ	WRITE	INTERRUPT (COMMENT)
8080	$\overline{MEMR}$	$\overline{MEMW}$	INTR (Thru RST Circuit)
8085	$\overline{RD}$	$\overline{WR}$	INTR (Thru RST Circuit)
Z-80	$\overline{RD}$	$\overline{WR}$	$\overline{INT}$ (Thru RST Circuit, Mode 0)
SCIMP	NROS	NWDS	SA (Thru Sense A)
6800	$\overline{VMA} \rightarrow 2 \cdot \overline{RW}$	$\overline{VMA} \rightarrow 2 \cdot \overline{RW}$	$\overline{IROA}$ or $\overline{IROB}$ (Thru PIA)

# Ordering Information



TEMPERATURE RANGE		-40°C to +85°C		-55°C to +125°C
Error	$\pm 1/2$ Bit Unadjusted	ADC0808CCN	ADC0808CCJ	ADC0808CJ
	$\pm 1$ Bit Unadjusted	ADC0809CCN		
Package Outline		N28A Molded DIP	J28A Hermetic DIP	J28A Hermetic DIP



Character x 1 line  
 Controller LSI HD44780 is built-in (see section 6).  
 Single power supply

**MECHANICAL DATA (Nominal dimensions)**  
 Module size . . . . . 80W x 36H x 12T (max.) mm  
 Active display area . . . . . 64.5W x 13.8H mm  
 Character size (5 x 7 dots) . . . . . 3.07W x 5.73H mm  
 Character pitch . . . . . 3.77 mm  
 Module size . . . . . 0.55W x 0.75H mm  
 Weight . . . . . about 25 g

**PERMITTED MAXIMUM RATINGS** min. max.  
 Power supply for logic ( $V_{DD}-V_{SS}$ ) . . . . . 0 7.0 V  
 Power supply for LCD drive ( $V_{DD}-V_O$ ) . . . . . 0 13.5 V  
 Input voltage ( $V_i$ ) . . . . .  $V_{SS}$   $V_{DD}$  V  
 Operating temperature ( $T_a$ ) . . . . . 0 50°C  
 Storage temperature ( $T_{stg}$ ) . . . . . -20 70°C

**OPERATIONAL CHARACTERISTICS**  
 $T_a = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_{DD} = 5.0 \text{ V} \pm 0.25 \text{ V}$   
 Output "high" voltage ( $V_{iH}$ ) . . . . . 2.2 V min.  
 Output "low" voltage ( $V_{iL}$ ) . . . . . 0.6 V max.  
 Output high voltage ( $V_{OH}$ ) ( $I_{OH} = 0.2 \text{ mA}$ ) . . . . . 2.4 V min.  
 Output low voltage ( $V_{OL}$ ) ( $I_{OL} = 1.2 \text{ mA}$ ) . . . . . 0.4 V max.  
 Power supply current ( $I_{DD}$ ) ( $V_{DD} = 5.0 \text{ V}$ ) . . . . . 1.0 mA typ.  
 . . . . . 2.0 mA max.  
 Power supply for LCD drive (Recommended) ( $V_{DD}-V_O$ )  
 Duty = 1/16  
 $T_a = 0^\circ\text{C}$  . . . . . 4.6 V typ.  
 $T_a = 25^\circ\text{C}$  . . . . . 4.4 V typ.  
 $T_a = 50^\circ\text{C}$  . . . . . 4.2 V typ.

MECHANICAL DATA . . . . . See page 15.

## INTERNAL PIN CONNECTION

Pin No.	Symbol	Level	Function
1	$V_{SS}$	—	0V
2	$V_{DD}$	—	+5V
3	$V_O$	—	—
4	RS	H/L	L: Instruction code input H: Data input
5	R/W	H/L	H: Data read (LCD module → MPU) L: Data write (LCD module ← MPU)
6	E	H, H→L	Enable signal
7	DB0	H/L	Data bus line Note (1), (2)
8	DB1	H/L	
9	DB2	H/L	
10	DB3	H/L	
11	DB4	H/L	
12	DB5	H/L	
13	DB6	H/L	
14	DB7	H/L	

### Notes:

In the HD44780, the data can be sent in either 4-bit 2-operation or 8-bit 1-operation so that it can interface to both 4 and 8 bit MPU's.

- When interface data is 4 bits long, data is transferred using only 4 buses of  $DB_4 \sim DB_7$  and  $DB_0 \sim DB_3$  are not used. Data transfer between the HD44780 and the MPU completes when 4-bit data is transferred twice. Data of the higher order 4 bits (contents of  $DB_4 \sim DB_7$  when interface data is 8 bits long) is transferred first and then lower order 4 bits (contents of  $DB_0 \sim DB_3$  when interface data is 8 bits long).
- When interface data is 8 bits long, data is transferred using 8 data buses of  $DB_0 \sim DB_7$ .

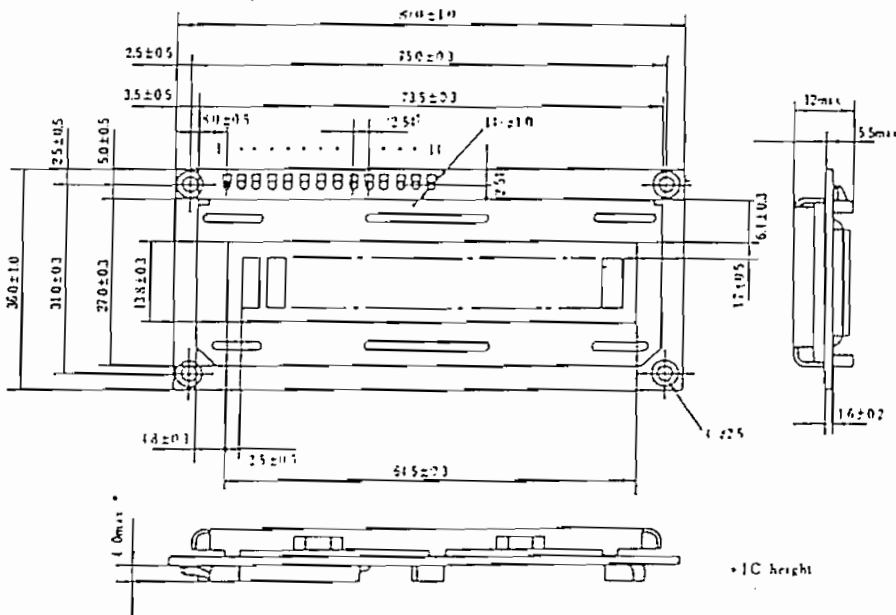


Fig. 1 External dimension

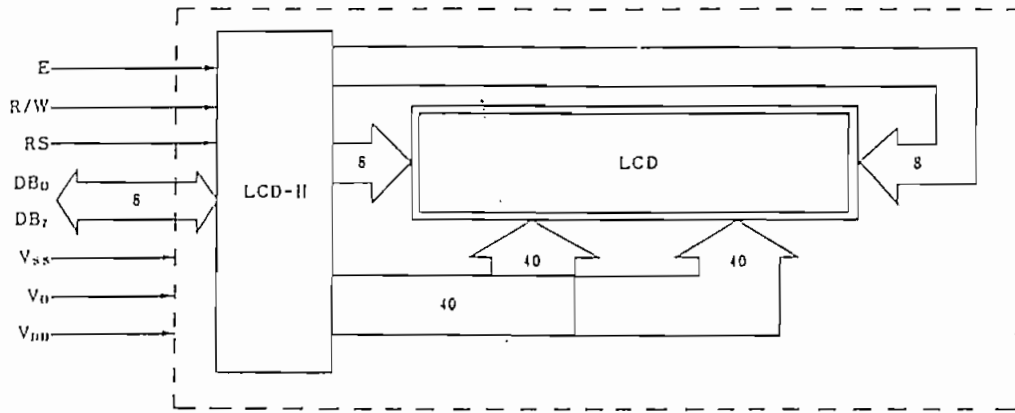
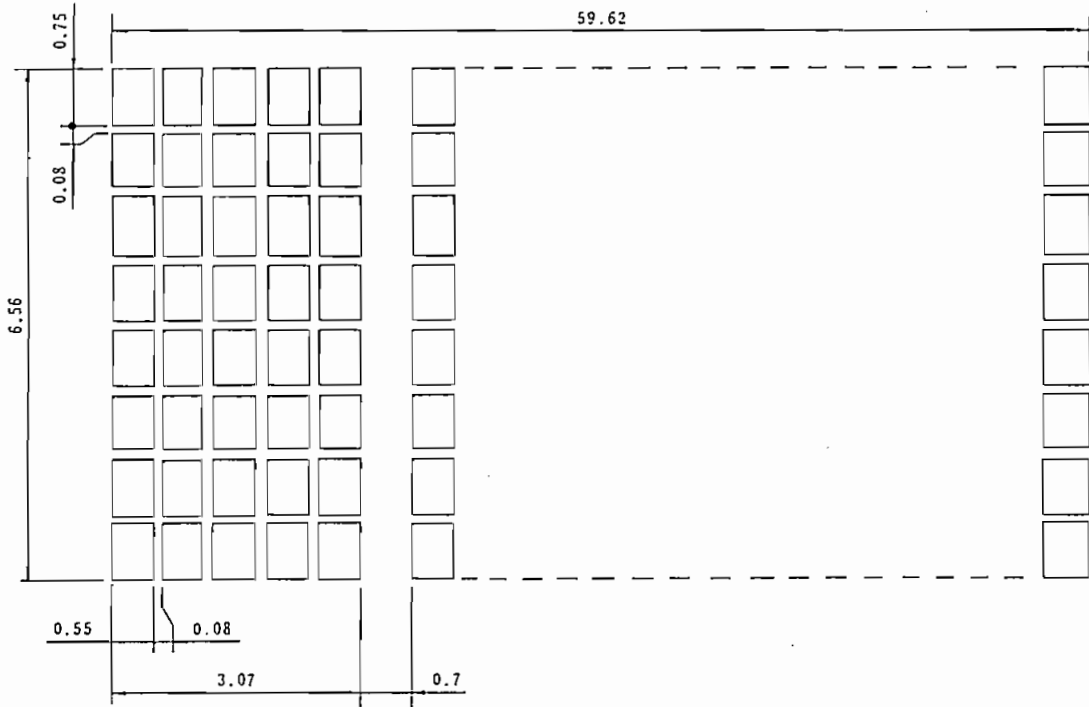


Fig. 2 Block diagram



Unit: mm

Fig. 3 Display pattern

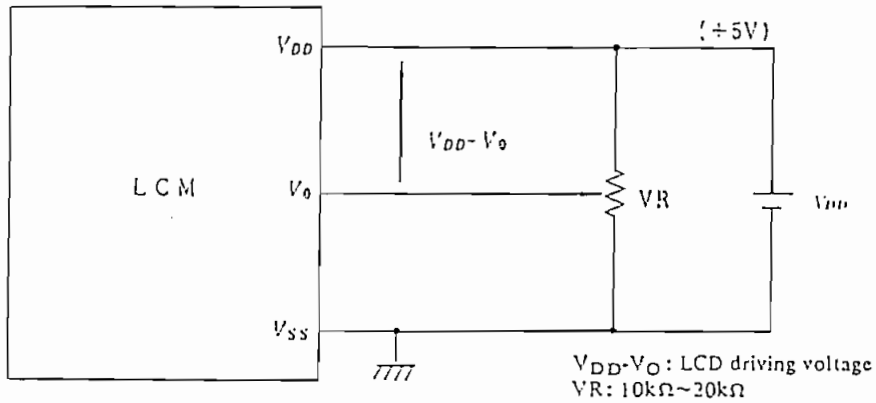


Fig. 4 Power supply

# CHARACTERISTICS

Item	Symbol	Test condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
cycle time	$t_{cyc}$	Fig. 5, Fig. 6	1.0	—	—	$\mu s$
pulse width	$PW_{EH}$	Fig. 5, Fig. 6	450	—	—	ns
rise/fall time	$t_{Er}, t_{Ef}$	Fig. 5, Fig. 6	—	—	25	ns
AV set up time	$t_{AS}$	Fig. 5, Fig. 6	140	—	—	ns
delay time	$t_{DDR}$	Fig. 6	—	—	320	ns
hold time	$t_{DSW}$	Fig. 5	195	—	—	ns
access time	$t_H$	Fig. 5, Fig. 6	20	—	—	ns

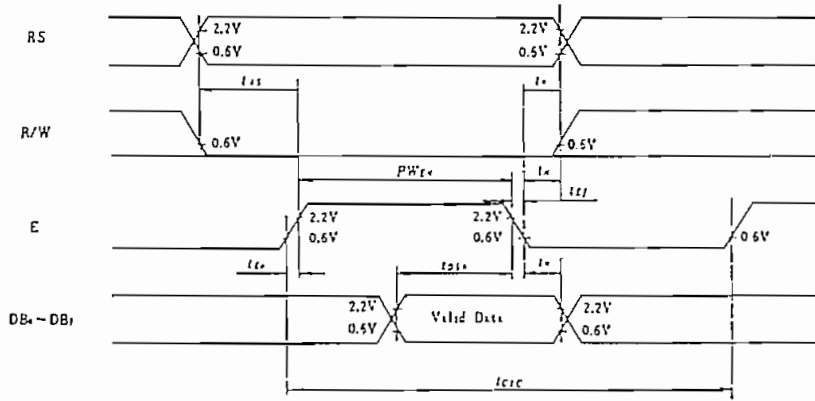


Fig. 5 Interface timing (data write)

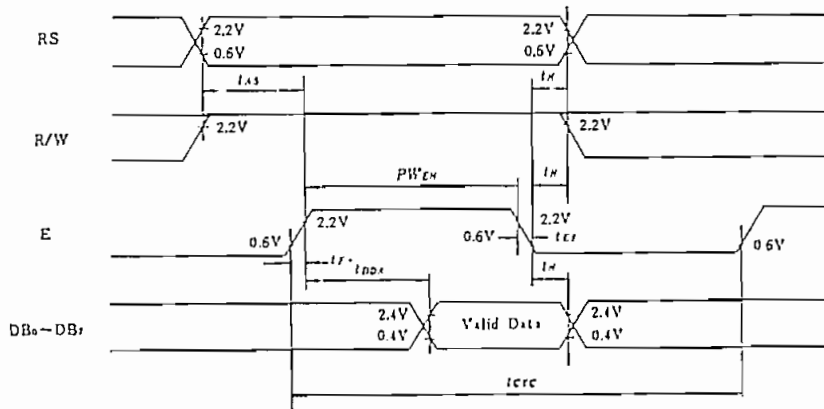


Fig. 6 Interface timing (data read)

# HOW TO USE HITACHI'S BUILT-IN CONTROLLER DRIVER

## LCD-II (HD44780) DOT MATRIX LCD MODULE

### ■ INTRODUCTION

The LCD-II (HD44780) is a dot matrix liquid crystal display controller & driver LSI that displays alphanumeric, kana characters and symbols. It drives dot matrix liquid crystal display under 4-bit or 8-bit microcomputer or microprocessor control. All the functions required for dot matrix liquid crystal display drive are internally provided on one chip.

The user can complete dot matrix liquid crystal display systems with less number of chips by using the LCD-II (HD44780). If a driver LSI HD44100H is externally connected to the HD44780, up to 80 characters can be displayed.

The LCD-II is produced in the CMOS process. Therefore, the combination of the LCD-II with a CMOS microcomputer or microprocessor can accomplish a portable battery-drive device with lower power dissipation.

### ■ FEATURES

- Capable of interfacing to 4-bit or 8-bit MPU.
- Display data RAM . . . . . 80 x 8 bits  
(80 characters, max.)
- Character generator ROM . . . . .  
Character font 5 x 7 dots: 160 characters  
Character font 5 x 10 dots: 32 characters
- Both display data and character generator RAMs can be read from the MPU.
- Wide range of instruction functions  
Display clear, Cursor home, Display ON/OFF, Cursor ON/OFF, Display character blink, Cursor shift, Display shift
- Internal automatic reset circuit at power ON. (Internal reset circuit)

### 1. Applicable type

#### (1) 1 line series

LM054 · H2570 · LM015 · LM568AF · LM020L · LM070L · LM038 · LM027 · H2571 · LM058

#### (2) 2 line series

LM052L · LM016L · LM032L · LM060L · LM017L · LM018L · LM075L · LM074L · LM068L · LM061L

#### (3) 4 lines series

LM041L · LM044L

#### (4) Compact version

LM104L · LM105L · LM107L

### 2. Connecting MPU with LCM

#### 2.1 Driver circuit block diagram

Figure 1 shows the driver circuit block diagram of LCM with built-in controller LSI. Controller LSI HD44780 (LCD-II) is built-in this LCM. Also extended LCD driver LSI is built in the LCM that displays more than 16 digits.

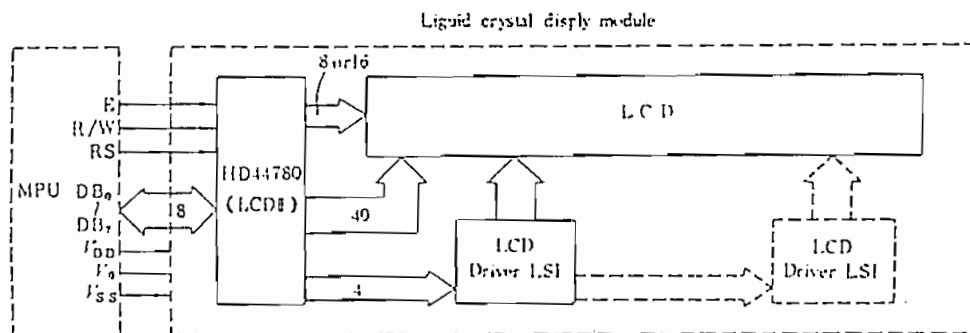


Fig. 1 Driver circuit block diagram

## 2 Interfacing to MPU

the HD44780, data can be sent in either 4-bit 2-operation 8-bit 1-operation so it can interface to both 4 and 8 bit U's.

When interface data is 4-bits long, data is transferred using only 4 buses: DB<sub>4</sub> ~ DB<sub>7</sub>. DB<sub>0</sub> ~ DB<sub>3</sub> are not used. Data transfer between the HD44780 and the MPU completes when 4-bit data is transferred twice. Data of the higher order 4 bits (contents of DB<sub>4</sub> ~ DB<sub>7</sub> when interface data is 8 bits long) is transferred first, then the

lower order 4 bits (content of DB<sub>0</sub> ~ DB<sub>3</sub> when interface data is 8 bits long) is transferred. Check the busy flag after 4-bit data has been transferred twice (one instruction). A 4-bit 2-operation will then transfer the busy flag and address counter data.

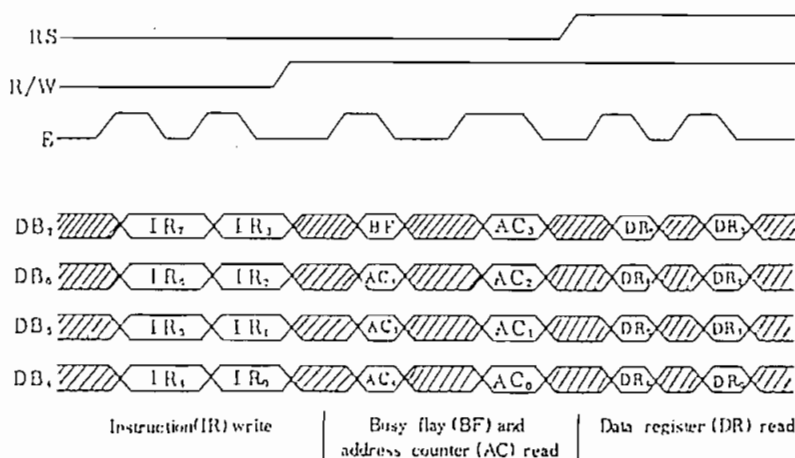


Fig. 2 4-bit data transfer example

When interface data is 8 bit long, data is transferred using the 8 data buses of DB<sub>0</sub> ~ DB<sub>7</sub>.

## Interface to MPU Interface to 8-bit MPU

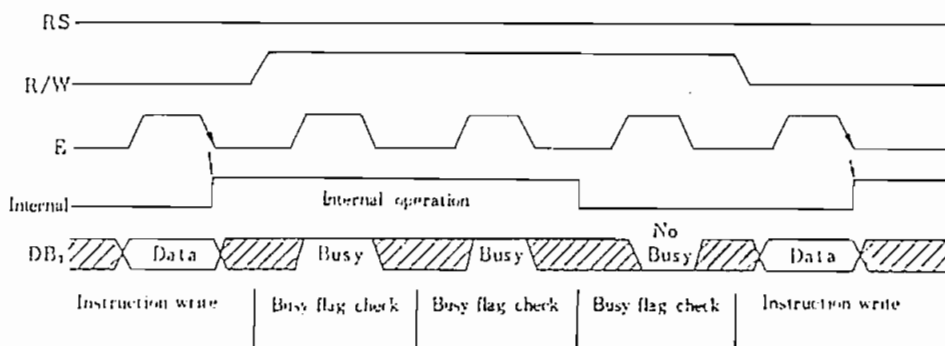


Fig. 3 Example of busy flag check timing sequence

## 1) When connecting to 8-bit MPU through PIA

Fig. 4 is an example of using a PIA or I/O port (for single chip microcomputer) as an interface device. Input and output of the device is TTL compatible. In the example, PB<sub>0</sub> to PB<sub>7</sub> are connected to the data

buses DB<sub>0</sub> to DB<sub>7</sub> and PA<sub>0</sub> to PA<sub>2</sub> are connected to E, R/W and RS respectively. Pay attention to the timing relation between E and other signals when reading or writing data and using PIA as an interface.

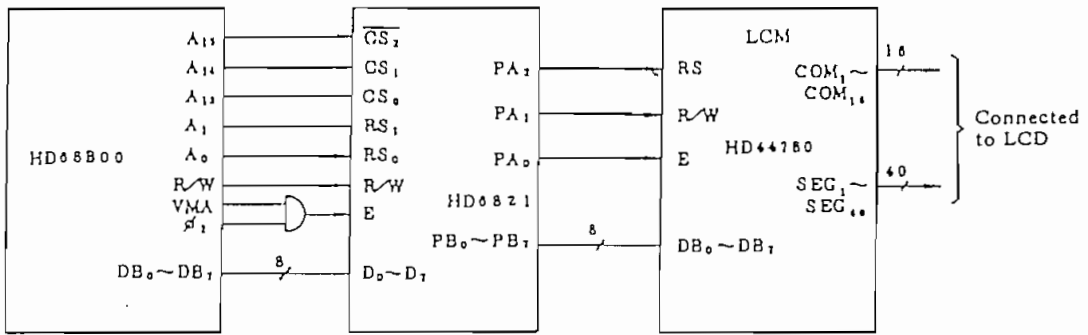
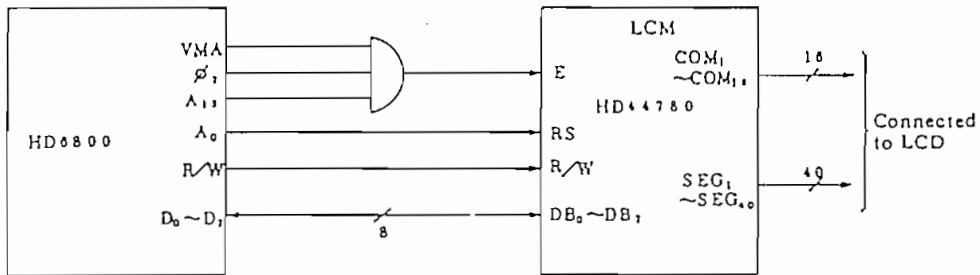
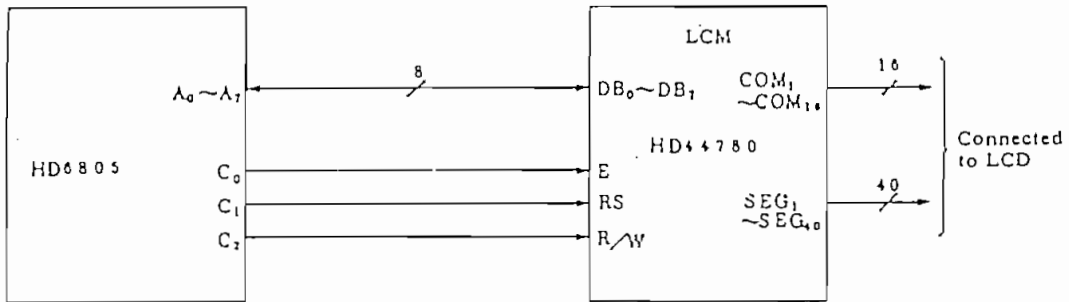


Fig. 4 Example of interface to HD68B00 using PIA (HD68B21)

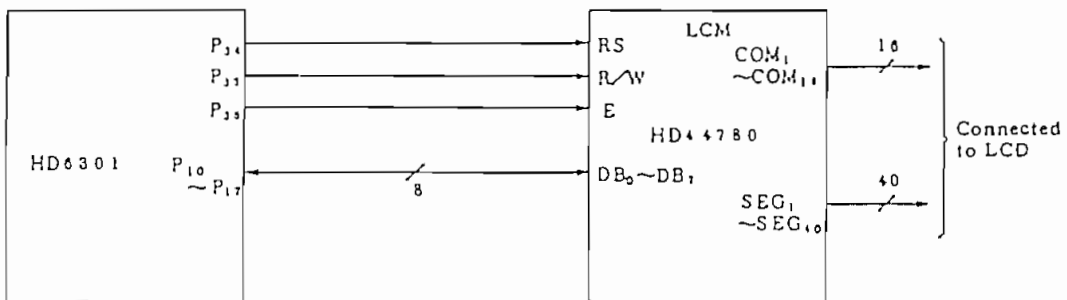
② Connecting directly to the 8 bit MPU bus line



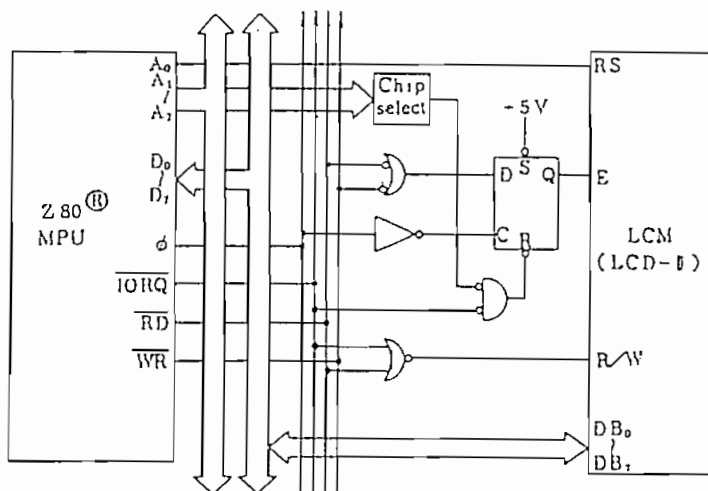
③ Example of interfacing to the HD6805



④ Example of interfacing to the HD6301



Example of interfacing to Z80 MPU



Note: 250 is the trademark of ZILOG, U.S.A.

This circuit is an example of connection with Z80 MPU and HD44780A00 as an I/O equipment. It can be used as a part of memories by using MREQ signal.

(c) In order to check busy flag, transfer the data of DB<sub>0</sub> ~ DB<sub>7</sub> to A register (accumulator) by executing In/Out instruction. After that, busy flag can be easily checked by examining DB<sub>7</sub>.

The signal can be used for RS signal.  
 0: Instruction register is selected.  
 1: Data register is selected.

Example of interfacing to 80 CPU family

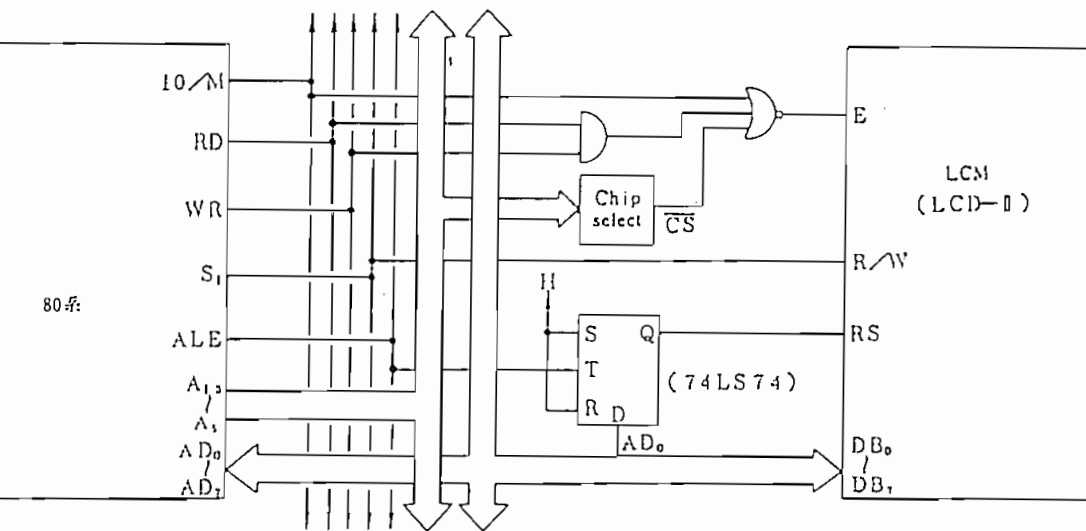


Fig. 5 Example of connection with LCM being used as a part of memories on the determined address.

This is an example of connection with LCD module used as a part of memories on the determined address.

I/O equipment, chip select signal is necessarily activated when IO/M signal is "High" level.

The RS signal (Register Select signal) is generated by latching the output of AD<sub>0</sub> at the rising edge of ALE signal. By this method, you can obtain RS signal from the output of the 8 bit addresses generated at the clock of the CPU. In case of using LCD module as an

Furthermore, by using A8 for RS signal, the interface is easily realized.

By both methods, busy flag can be checked by storing status data into A register (Accumulator) and examining the bit 7 by software.

SECTION 6

## 2) Interface to 4-bit MPU

The HD44780 can be connected to a 4-bit MPU through the 4-bit MPU I/O port. If the I/O port has enough bits, data can be transferred in 8-bit lengths, but if the bits are insufficient, the transfer is made in two operations of 4 bits each (with designation of interface data length for 4 bits). In the latter case, the timing sequence becomes

somewhat complex. (See Fig. 6)

Fig. 7 shows an example of interface to the HMCS43C. Note that 2 cycles are needed for the busy flag check as well as the data transfer. 4-bit operation is selected by program.

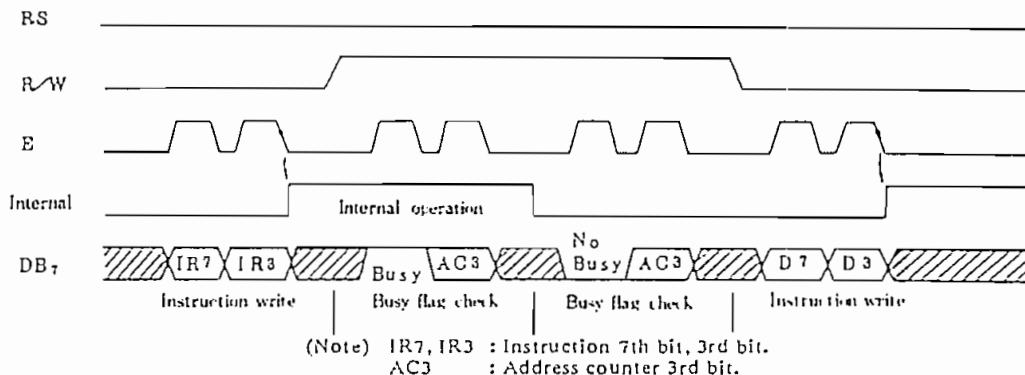


Fig. 6 An example of 4 bit data transfer timing sequence

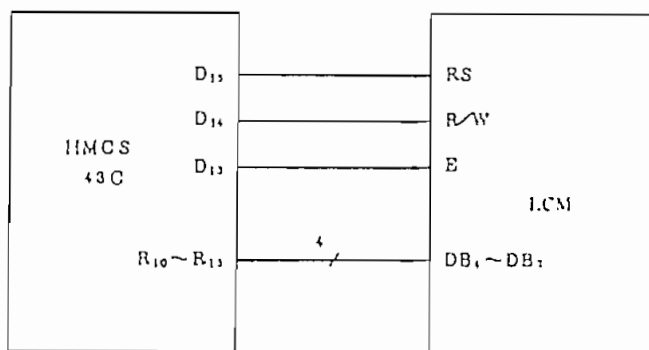


Fig. 7 Example of interface to the HMCS43C

## 3. Precautions on constituting hardwares

### 3.1 Chip select

HD44780 has no CS (chip select) terminals. Therefore, when this LSI is connected directly to Data Bus line not through PIA and so on, add the circuit that inhibits the output of Enable signal at the address which is not assigned for HD44780.

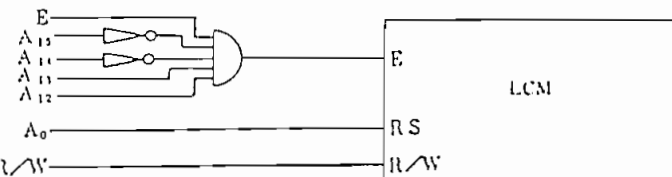


Fig. 8 Example of addresses  $(3000)_{16} \sim (3FFF)_{16}$  being assigned for HD44780

### 3.2 Ability of driving bus line

$DB_0$  to  $DB_7$  can drive one TTL or capacitance of 130 pF. The data bus terminals have three-state constructions and remain in high impedance state while Enable signal being low level.

Since the data bus has pull up MOS, it outputs high level voltage during the data bus being opened.

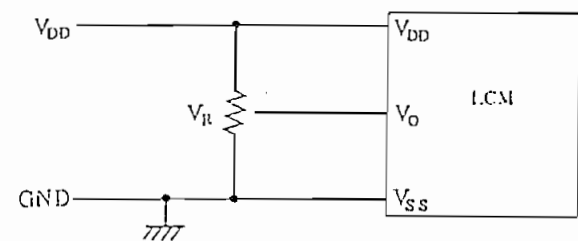
### 3.3 Power supply voltage for liquid crystal display drive

At Interface of liquid crystal display module, there are three power supply terminals,  $V_{DD}$ , GND, and  $V_0$ . LCD module is driven by the voltage that is equal to  $V_{DD} - V_0$ , when supplying power for liquid crystal display drive to  $V_0$  terminal. Since suitable voltage of power supply for LCD shifts according to temperature change adjust supplying power to LCD by referring to Fig. 9 or Fig. 10.



Example of variable driving voltage by a variable resistance (VR)

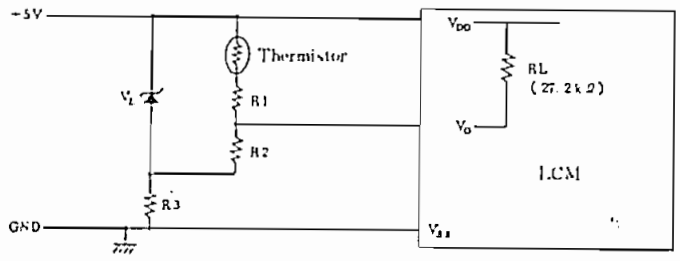
The driving voltage can be changed by VR to compensate the influence of surrounding temperature.



Recommended VR value = 10kΩ ~ 20kΩ

Fig. 9 Variable driving voltage circuit

(2) Example of a thermal compensator circuit  
When setting the voltage, refer to Table-1



Thermistor (RT = 15kΩ (Ta = 25°C), B = 4300)

Fig. 10 Example of a thermal compensator circuit

Table 1

Duty	Recommended driving voltage		Typical circuit parameter			
	Ta (°C)	VDD - VO (V)	Vz (V)	R1 (kΩ)	R2 (kΩ)	R3 (kΩ)
1 : 8	0	4.0	4.5	2.2	2.8	1.0
	25	3.7				
	50	3.3				
1 : 11	0	4.3	4.5	2.2	3.2	0.3
	25	3.9				
	50	3.3				
1 : 16	0	4.6	5.0	0.1	1.3	0.1
	25	4.4				
	50	4.2				

Initialization

Initializing by internal reset circuit

HD44780 automatically initializes (resets) when power is turned on using the internal reset circuit. The following instructions are executed in initialization. The busy flag (BF) is set in busy state until initialization ends. (BF = 1) The busy time is 10 ms after VCC rises to 4.5 V.

Display clear

Function set . . . . . DL = 1 : 8 bit long interface data  
 N = 0 : 1-line display  
 F = 0 : 5 x 7 dot character font

Display ON/OFF control

. . . . . D = 0 : Display OFF  
 C = 0 : Cursor OFF  
 B = 0 : Blink OFF

Entry mode set

. . . . . I/D = 1 : +1 (increment)  
 S = 0 : No shift

(5) Write DD RAM

When the rise time of power supply (0.2 → 4.5) is out of the range 0.1 ms ~ 10 ms, or when the low level width of power OFF (less than 0.2 V) is less than 1 ms, the internal reset circuit will not operate normally.

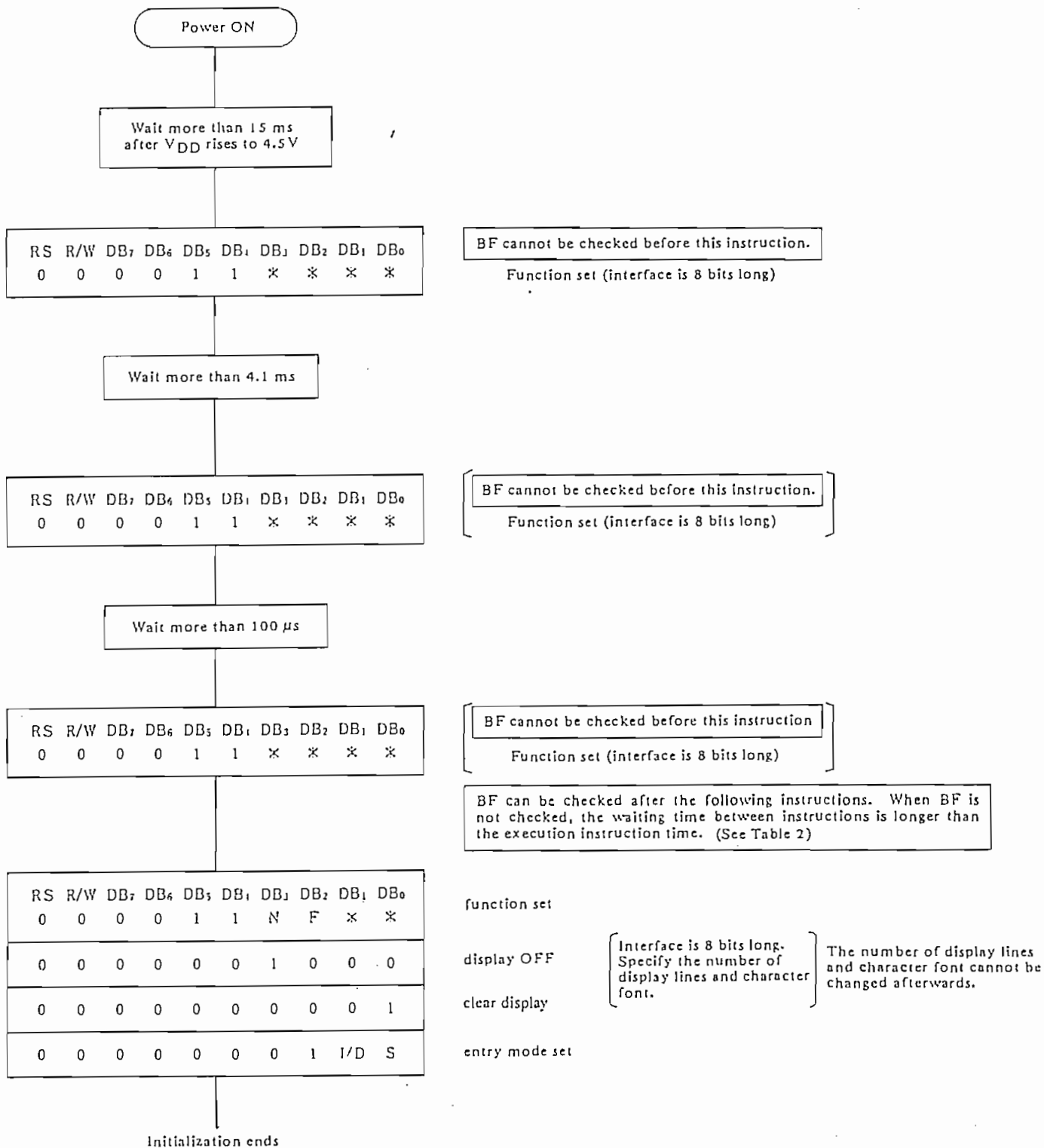
In this case, initialization will not be performed normally. Initialize by MPU according to "4.2 initializing by instruction" at the head of program.

4.2 Initializing by instruction

If the power supply conditions for correctly operating the internal reset circuit are not met, initialization by instruction is required.

Use the following procedure for initialization.

(1) When interface is 8 bits long;



then interface is 4 bits long

Power ON

Wait more than 15 ms after V<sub>DD</sub> rises to 4.5V

RS	R/W	DB <sub>7</sub>	DB <sub>6</sub>	DB <sub>5</sub>	DB <sub>4</sub>
0	0	0	0	1	1

BF cannot be checked before this instruction.  
Function set (interface is 8 bits long)

Wait more than 4.1 ms

RS	R/W	DB <sub>7</sub>	DB <sub>6</sub>	DB <sub>5</sub>	DB <sub>4</sub>
0	0	0	0	1	1

BF cannot be checked before this instruction.  
Function set (interface is 8 bits long)

Wait more than 100 μs

RS	R/W	DB <sub>7</sub>	DB <sub>6</sub>	DB <sub>5</sub>	DB <sub>4</sub>
0	0	0	0	1	1

BF cannot be checked before this instruction.  
Function set (interface is 8 bits long)

BF can be checked after the following instructions. When BF is not checked, the waiting time between instructions is longer than the execution instruction time. (See Table 2)

RS	R/W	DB <sub>7</sub>	DB <sub>6</sub>	DB <sub>5</sub>	DB <sub>4</sub>
0	0	0	0	1	0

Function set (set interface to be 4 bits long) Interface is 8 bits long

0	0	0	0	1	0
0	0	N	F	*	*

function set

0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0

display OFF

Interface is 4 bits long. Specify the number of display lines and character font.

The number of display lines and character font cannot be changed afterwards.

0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1

clear display

0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	I/D	S

entry mode set

Initialization ends

Instruction

1 Outline

Only two HD44780 registers, the Instruction Register (IR) and the Data Register (DR) can be directly controlled by the MPU. Prior to internal operation start, control information is temporarily stored in these registers, to allow interface from HD44780 internal operation to various types of MPUs which operate in different speeds or to allow interface to peripheral control ICs. HD44780 internal operation is determined by signals sent from the MPU. These signals include register selection signals (RS), read/write signals (R/W) and data bus signals (DB<sub>0</sub> ~ DB<sub>7</sub>), and are called instructions, here. Table 2 shows the instructions and their execution time. Details are explained in subsequent sections.

Instructions are of 4 types, those that,

- 1) Designate HD44780 functions such as display format, data length, etc.
- 2) Give internal RAM addresses.
- 3) Perform data transfer with internal RAM
- 4) Others

In normal use, category (3) instructions are used most frequently. However, automatic incrementing by +1 (or decrementing by -1) of HD44780 internal RAM addresses after each data write lessens the MPU program load. The display shift is especially able to perform concurrently with display data write, enabling the user to develop systems in minimum time with maximum programming efficiency. For an explanation of the shift function in its relation to display, see 5.3. When an instruction is executing during internal operation, no other instruction other than the busy flag/address read instruction can be executed.

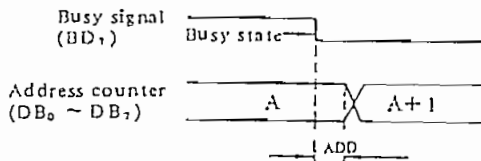
Because the busy flag is set to "1" while an instruction is being executed, check to make sure it is on "1" before sending an instruction from the MPU.

Note 1

Make sure the HD44780 is not in the busy state (BF = 0) before sending the instruction from the MPU to the HD44780. If the instruction is sent without checking the busy flag, the time between first and next instructions is much longer than the instruction time. See Table 2 for a list of each instruction execution time.

Note 2

After executing instruction of writing data to CG/DD RAM or reading data from CG/DD RAM, RAM address counter is automatically incremented by 1 (or decremented by 1). In this case, this shift is executed after Busy Flag is set to "Low".  $t_{ADD}$  is stipulated the time from the fall edge of busy flag to the end of address counter's renewal.



$t_{ADD}$  depends on the operating frequency

$$t_{ADD} = \frac{1.5}{f_{CP} \text{ or } f_{osc}} \text{ (s)}$$

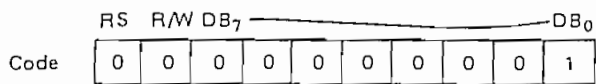
2 Instructions

Instruction	Code										Description	Execution time (when fosc is 250 kHz) Note 1	Execution time (when fosc is 160 kHz) Note 2	
	RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0				
Clear display	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	Clears all display and returns the cursor to the home position (Address 0).	82 μs ~ 1.64 ms	120 μs ~ 4.9 ms	
Return to home	0	0	0	0	0	0	0	0	1	*	Returns the cursor to the home position (Address 0). Also returns the display being shifted to the original position. DD RAM contents remain unchanged.	40 μs ~ 1.6 ms	120 μs ~ 4.8 ms	
Cursor move mode	0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	S	Sets the cursor move direction and specifies or not to shift the display. These operations are performed during data write and read.	40 μs	120 μs	
Cursor ON/OFF control	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B	Sets ON/OFF of all display (D), cursor ON/OFF (C), and blink of cursor position character (B).	40 μs	120 μs	
Cursor and display shift	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	*	*	Moves the cursor and shifts the display without changing DD RAM contents	40 μs	120 μs	
Interface data length set	0	0	0	0	1	DL	N	F	*	*	Sets interface data length (DL) number of display lines (L) and character font (F).	40 μs	120 μs	
CG RAM address	0	0	0	1	ACG					Sets the CG RAM address. CG RAM data is sent and received after this setting.		40 μs	120 μs	
DD RAM address	0	0	1	ADD					Sets the DD RAM address. DD RAM data is sent and received after this setting.		40 μs	120 μs		
Busy address	0	1	BF	AC					Reads Busy flag (BF) indicating internal operation is being performed and reads address counter contents.		1 μs	1 μs		
Data write to RAM	1	0	Write Data					Writes data into DD RAM or CG RAM.		40 μs	120 μs			
Data read from RAM	1	1	Read Data					Reads data from DD RAM or CG RAM.		40 μs	120 μs			
I/D = 1: Increment (+1) I/D = 0: Decrement (-1) S = 1: Accompanies display shift. S/C = 1: Display shift S/C = 0: Cursor move R/L = 1: Shift to the right. R/L = 0: Shift to the left. DL = 1: 8 bits DL = 0: 4 bits N = 1: 2 lines N = 0: 1 line F = 1: 5 x 10 dots F = 0: 5 x 7 dots BF = 1: Internally operating BF = 0: Can accept instruction											DD RAM: Display data RAM CG RAM: Character generator RAM ACG: CG RAM address ADD: DD RAM address Corresponds to cursor address. AC: Address counter used for both of DD and CG RAM address.		Execution time changes when frequency changes. (Example) When fosc is 270 kHz: $40 \mu s \times \frac{250}{270} = 37 \mu s$	

ct  
 Applied to models driven by 1/8 duty or 1/11 duty.  
 Applied to models driven by 1/16 duty.

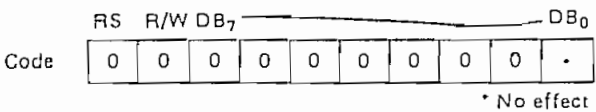
5.2 Description of details

1) Clear display



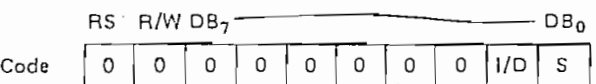
Writes space code "20" (hexadecimal) (character pattern for character code "20" must be blank pattern) into all DD RAM addresses. Sets DD RAM address 0 in address counter. Returns display to its original status if it was shifted. In other words, the display disappears and the cursor or blink go to the left edge of the display (the first line if 2 lines are displayed). Set I/D = 1 (Increment Mode) of Entry Mode. S of Entry Mode doesn't change.

2) Return home



Sets the DD RAM address 0 in address counter. Returns display to its original status if it was shifted. DD RAM contents do not change. The cursor or blink go to the left edge of the display (the first line if 2 lines are displayed).

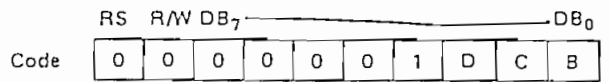
3) Entry mode set



I/D: Increments (I/D = 1) or decrements (I/D = 0) the DD RAM address by 1 when a character code is written into or read from the DD RAM. The cursor or blink moves to the right when incremented by 1 and to the left when decremented by 1. The same applies to writing and reading of CG RAM.

S: Shifts the entire display either to the right or to the left when S is 1; to the left when I/D = 1 and to the right when I/D = 0. Thus it looks as if the cursor stands still and the display moves. The display does not shift when reading from the DD RAM when writing into or reading out from the CG RAM does it shift when S = 0.

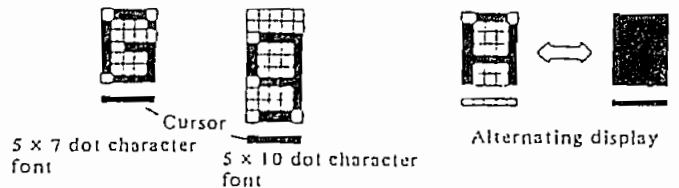
(4) Display ON/OFF control



D: The display is ON when D = 1 and OFF when D = 0. When off due to D = 0, display data remains in the DD RAM. It can be displayed immediately by setting D = 1.

C: The cursor displays when C = 1 and does not display when C = 0. Even if the cursor disappears, the function of I/D, etc. does not change during display data write. The cursor is displayed using 5 dots in the 8th line when the 5 x 7 dot character font is selected and 5 dots in the 11th line when the 5 x 10 dot character font is selected.

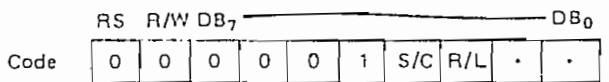
B: The character indicated by the cursor blinks when B = 1. The blink is displayed by switching between all blank dots and display characters at 409.6 ms interval when  $f_{CP}$  or  $f_{osc} = 250$  kHz. The cursor and the blink can be set to display simultaneously. (The blink frequency changes according to the reciprocal of  $f_{CP}$  or  $f_{osc}$ .  $409.6 \times \frac{250}{270} = 379.2$  ms when  $f_{CP} = 270$  kHz.)



(a) Cursor Display Example

(b) Blink Display Example

(5) Cursor or display shift

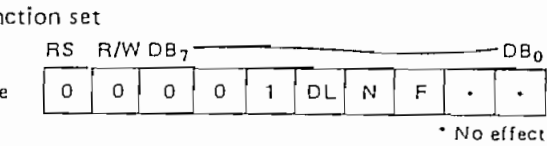


\* No effect

Shifts cursor position or display to the right or left without writing or reading display data. This function is used to correct or search for the display. In a 2-line display, the cursor moves to the 2nd line when it passes the 40th digit of the 1st line. Notice that the 1st and 2nd line displays will shift at the same time. When the displayed data is shifted repeatedly each line only moves horizontally. The 2nd line display does not shift into the 1st line position.

R/C	R/L	Description
0	0	Shifts the cursor position to the left. (AC is decremented by one.)
0	1	Shifts the cursor position to the right. (AC is incremented by one.)
1	0	Shifts the entire display to the left. The cursor follows the display shift.
1	1	Shifts the entire display to the right. The cursor follows the display shift.

Address counter (AC) contents do not change if the only operation performed is shift display.



Sets interface data length. Data is sent or received in 8 bit lengths (DB<sub>7</sub> ~ DB<sub>0</sub>) when DL = 1 and in 4 bit lengths (DB<sub>7</sub> ~ DB<sub>4</sub>) when DL = 0.

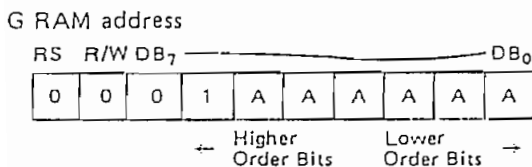
When the 4 bit length is selected, data must be sent or received twice.

Sets number of display lines.

Sets character font.

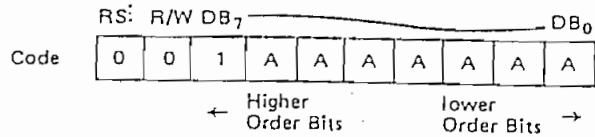
Perform the function at the head of the program before executing all instructions (except "Busy flag/address read"). From this point, the function set instruction cannot be executed unless the interface data length is changed.

No. of display lines	Character font	Duty factor	Remarks
1	5 x 7 dots	1/8	
1	5 x 10 dots	1/11	
2	5 x 7 dots	1/16	Cannot display 2 lines with 5 x 10 dot character font.



Writes the CG RAM address into the address counter in binary AAAAAA. Data is then written or read from the MPU for the CG RAM.

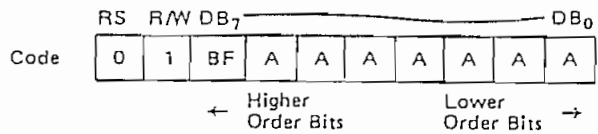
(8) Set DD RAM address



Sets the DD RAM address into the address counter in binary AAAAAA. Data is then written or read from the MPU for the DD RAM.

However, when N = 0 (1-line display), AAAAAA is "00" ~ "4F" (hexadecimal), when N = 1 (2-line display), AAAAAA is "00" ~ "27" (hexadecimal) for the first line, and "40" ~ "67" (hexadecimal) for the second line.

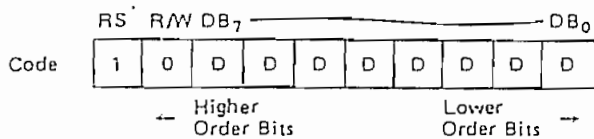
(9) Read busy flag & address



Reads the busy flag (BF) that indicates the system is now internally operating by a previously received instruction. BF = 1 indicates that internal operation is in progress. The next instruction will not be accepted until BF is set to "0". Check the BF status before the next wire operation.

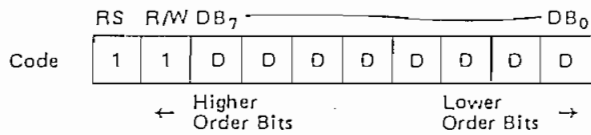
At the same time, the value of the address counter expressed in binary AAAAAA is read out. The address counter is used by both CG and DD RAM addresses, and its value is determined by the previous instruction. Address contents are the same as in Items (7) and (8).

(10) Write data to CG or DD RAM



Writes binary 8 bit data DDDDDDDD to the CG or the DD RAM. Whether the CG or DD RAM is to be written into is determined by the previous specification of CG RAM or DD RAM address setting. After write, the address is automatically incremented or decremented by 1 according to entry mode. The entry mode also determines display shift.

## 1) Read data from CG or DD RAM



Reads binary 8 bit data DDDDDDDD from the CG or DD RAM. The previous designation determines whether the CG or DD RAM is to be read. Before entering the read instruction, you must execute either the CG RAM or DD RAM address set instruction. If you don't, the first read data will be invalidated. When serially executing the "read" instruction, the next address data is normally read from the second read. The "address set" instruction need not be executed just before the "read" instruction when shifting the cursor by cursor shift instruction (when reading out DD RAM). The cursor shift instruction operation is the same as that of the DD RAM's address set instruction.

After a read, the entry mode automatically increases or decreases the address by 1. However, display shift is not executed no matter what the entry mode is.

(Note) The address counter (AC) is automatically incremented or decremented by 1 after "write" instructions to either CG RAM or DD RAM. RAM data selected by the AC cannot than be read out even if "read" instructions are executed. The conditions for correct data read out are: execute either the address set instruction or cursor shift instruction (only with DD RAM), just before reading out execute the "read" instruction from the second time the "read" instruction is serial.

## 5.3 Instruction and display correspondence

(1) 8-bit operation, 8-digit x 1-line display (using internal reset)

Following table shows an example of 8-bit x 1-line display in 8-bit operation.

The HD44780 functions must be set by Function Set prior to display. Since the display data RAM can store data for 80 characters, as explained before, the RAM can be used for displays like the lightening board when combined with display shift operation.

Since the display shift operation changes display position only and DD RAM contents remain unchanged, display data entered first can be output when the return home operation is performed.



Operation, 8-digit 1-line display example (using internal reset)

Instruction	Display	Operation
Power supply ON (HD44780 is initialized by the internal reset circuit)		Initialized. No display appears.
Function Set RS R/W DB <sub>7</sub> ————— DB <sub>0</sub> 0 0 0 0 1 1 0 0		Sets to 8-bit operation and selects 1-line display lines and character font. (Number of display lines and character fonts cannot be changed hereafter.)
Display ON/OFF Control 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0		Turns on display and cursor. Entire display is in space mode because of initialization.
Entry Mode Set 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0		Sets mode to increment the address by one and to shift the cursor to the right at the time of write to the DD/CG RAM. Display is not shifted.
Write Data to CG RAM/DD RAM 1 0 0 1 0 0 1 0 0 0		Write "H". The DD RAM has already been selected by initialization when the power is turned on. The cursor is incremented by one and shifted to the right.
Write Data to CG RAM/DD RAM 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1		Writes "I".
⋮	⋮	
Write Data to CG RAM/DD RAM 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1		Writes "I".
Entry Mode Set 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1		Sets mode for display shift at the time of write.
Write Data to CG RAM/DD RAM 1 0 0 0 1 0 0 0 0 0		Writes "Space".
Write Data to CG RAM/DD RAM 1 0 0 1 0 0 1 1 0 1		Writes "M".
⋮	⋮	
Write Data to CG RAM/DD RAM 1 0 0 1 0 0 1 1 1 1		Writes "O".
Cursor or Display Shift 0 0 0 0 0 1 0 0		Shifts only the cursor position to the left.
Cursor or Display Shift 0 0 0 0 0 1 0 0		Shifts only the cursor position to the left.
Write Data to CG RAM/DD RAM 1 0 0 1 0 0 0 0 1 1		Writes "C" [correction]. The display moves to the left.
Cursor or Display Shift 0 0 0 0 0 1 1 1		Shifts the display and cursor position to the right.
Cursor or Display Shift 0 0 0 0 0 1 0 1		Shifts display and cursor position to the right.
Write Data to CG RAM/DD RAM 1 0 0 1 0 0 1 1 0 1		Writes "M".
⋮	⋮	
Return Home 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0		Returns both display and cursor to the original position (Address 0).

SECTION 6

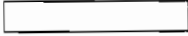


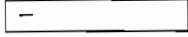


4-bit operation, 8-digit x 1-line display (using internal reset)

The program must set functions prior to 4-bit operation. The following table shows an example. When power is turned on, 8-bit operation is automatically selected and the first write is performed as an 8-bit operation. Since

nothing is connected to  $DB_0 \sim DB_3$ , a rewrite is then required. However, since one operation is completed in two access of 4-bit operation, a rewrite is needed as a function (see the following table).

Thus,  $DB_4 \sim DB_7$  of the function set is written twice.

operation, 8-digit 1-line display (using internal reset)

Instruction	Display	Operation
Power supply ON (HD44780 is initialized by the internal reset circuit)		Initialized. No display appears.
Function Set RS R/W $DB_7$ ————— $DB_4$ 0 0 0 0 1 0		Sets to 4-bit operation. In this case, operation is handled as 8 bits by initialization, and only this instruction completes with one write.
Function Set 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 • •		Sets 4-bit operation and selects 1-line display and 5 x 7 dot character font. 4-bit operation starts from this point on and resetting is needed. (Number of display lines and character fonts cannot be changed hereafter.)
Display ON/OFF Control 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0		Turns on display and cursor. Entire display is in space mode because of initialization.
Entry Mode Set 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0		Sets mode to increment the address by one and to shift the cursor to the right, at the time of write, to the DD/CG RAM. Display is not shifted.
Write Data to CG RAM/DD RAM 1 0 0 1 0 0 1 0 1 0 0 0		Writes "H". The cursor is incremented by one and shifts to the right.

fter, control is the same as 8-bit operation.

8-bit operation, 8-digit x 2-line display

For 2-line display, the cursor automatically moves from the first to the second line after the 40th digit of the 1st line has been written. Thus, if there are only 8 characters in the first line, the DD RAM address must again be set after the 8th character is completed. (See the following table) Note that the first and second lines of the display

shift are performed. In the example, the display shift is performed when the cursor is on the second line. However, if shift operation is performed when the cursor is on the first line, both the first and second lines move together. When you repeat the shift, the display of the second display will only move within each line many times.

operation, 8-digit x 2-line display example (using internal reset)

Instruction	Display	Operation
Power supply ON (HD44780 is initialized by the internal reset circuit)		Initialized. No display appears.
Function Set RS R/W DB <sub>7</sub> ————— DB <sub>0</sub> 0 0 0 0 0 1 1 1 0 . .		Sets to 8-bit operation and selects 2-line display and 5 x 7 dot character font.
Display ON/OFF Control 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0		Turns on display and cursor. All display is in space mode because of initialization.
Entry Mode Set 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0		Sets mode to increment the address by one and to shift the cursor to the right, at the time of write, to the DD/CG RAM. Display is not shifted.
Write Data to CG RAM/DD RAM 1 0 0 1 0 0 1 0 0 0		Write "H". The DD RAM has already been selected by initialization when the power is turned on. The cursor is incremented by one and shifted to the right.
⋮	⋮	
Write Data to CG RAM/DD RAM 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1		Writes "I".
Set DD RAM Address 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0		Sets RAM address so that the cursor is positioned at the head of the 2nd line.
Write Data to CG RAM/DD RAM 1 0 0 1 0 0 1 1 0 1		Writes "M".
⋮	⋮	
Write Data to CG RAM/DD RAM 1 0 0 1 0 0 1 1 1 1		Writes "O".
Entry Mode Set 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1		Sets mode for display shift at the time of write.
Write Data to CG RAM/DD RAM 1 0 0 1 0 0 1 1 0 1		Writes "M". Display is shifted to the right. The first and second lines' shift are operated at the same time.
⋮	⋮	
Return Home 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0		Returns both display and cursor to the original position (Address 0).

Precaution on programming

Instruction of function set

Perform the function at the head of program that accesses HD44780 before executing all instructions, and not change the data of the Instruction Register in the program. The data of function register can be changed by the program as follows;

- a. • Changing of DL (Data Length)
  - Perform the instruction appointed in 4.2 (2), when DL is changed from 8-bit length to 4-bit length mode.
  - Perform the instruction appointed in 4.2 (1), when DL is changed from 4-bit length to 8-bit length mode.
- b. • Changing of N (Column Number)
  - Perform the instruction of function set after executing instruction of display clear or display off.

In this case, sequence of AC and DD RAM must be changed. Thus, rewrite the address set register after that.

- c. • Changing of F (Font)
  - There is no problem in this case, but for dual-line display, the font mode of 5 x 11 cannot be selected (this mode is forbidden by hardware).

When N or F is changed, power supply voltage for LCD must be changed. If not changed, crosstalk will appear, or contrast will be poor.

(2) Busy flag check

HD44780 is produced in the CMOS process, therefore internal executing time is long. Standard time is 40 μs ~ 1.6 ms (This varies by instruction)

When the high speed MPU controls it, check the busy flag before performing instruction or reading data.

While internal operation is active, Enable signal is not accepted. (Enable signal at reading status register for checking busy flag is accepted) Busy flag signal is output through DB<sub>7</sub>, as shown in Table 3, when RS = "0", R/W = "1", and Enable = "1".

(3) Input of unidentified instruction code

Undefined instruction code of HD44780 is only as follows;

RS	R/W	DB <sub>7</sub> ~ DB <sub>0</sub>
0	0	0 ~

(Others are included to defined instruction)

When the undefined instruction code is loaded to HD44780, it accepts the code, but does not change the internal states (RAM and other status of Flags). Busy state, however continues for maximum 40 μs by the acceptance of the code.

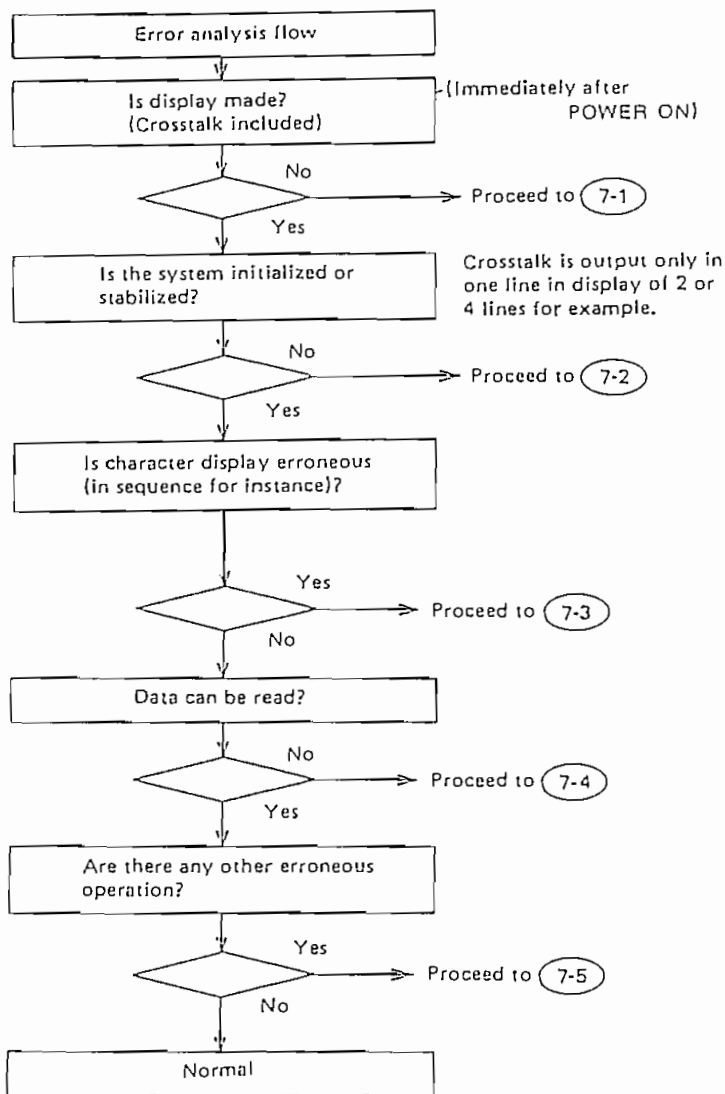
Table 3 The relation between the operation and the combination of RS, R/W

RS	RW	E	OPERATION
0	0		Write instruction code
0	1		Read busy flag and address counter
1	0		Write data
1	1		Read data

When performing data and instruction code by 4 bit, transfer RS, R/W every time.

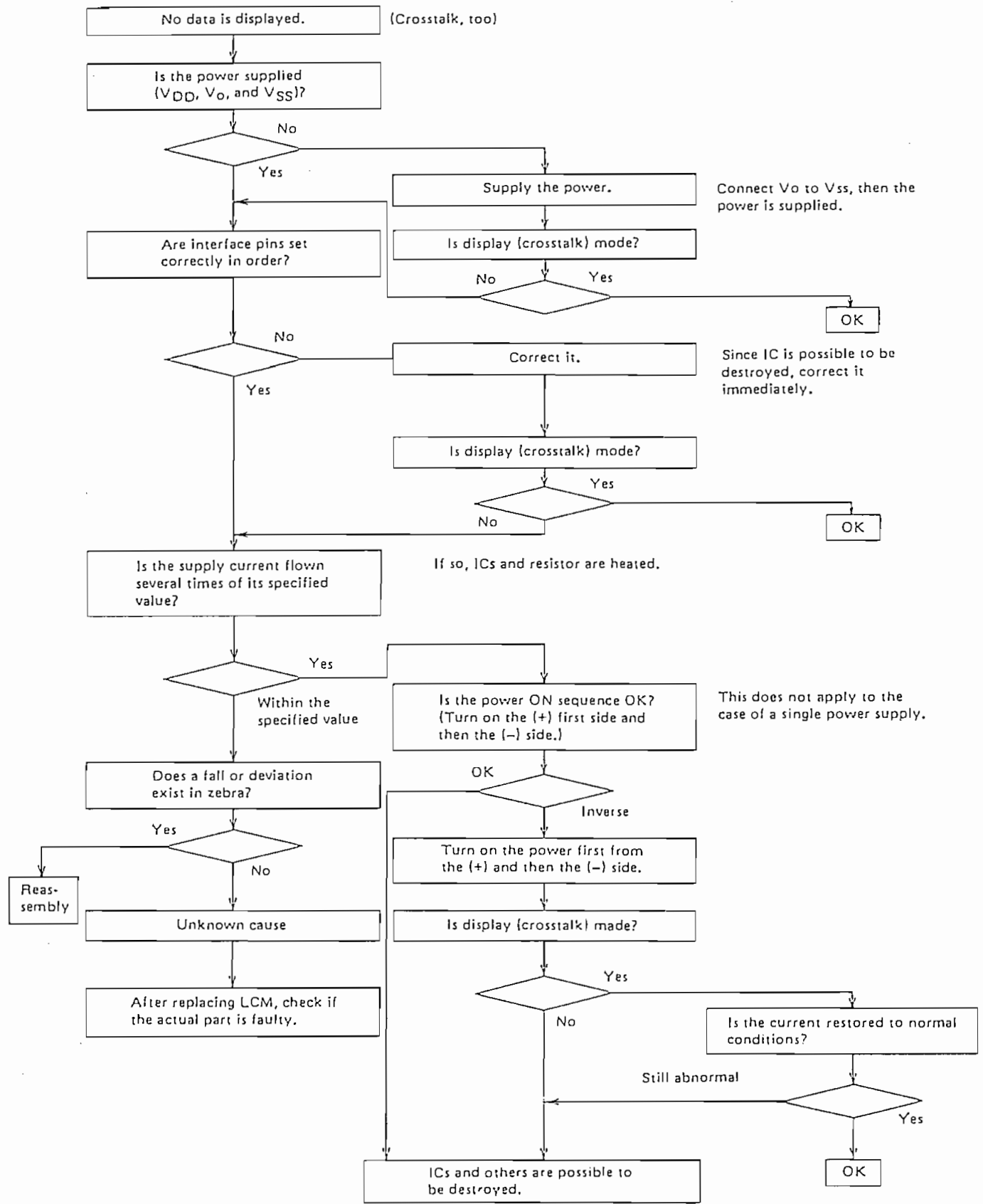
How to check trouble  
 Follow the flowchart below to check errors.

Error analysis flowchart

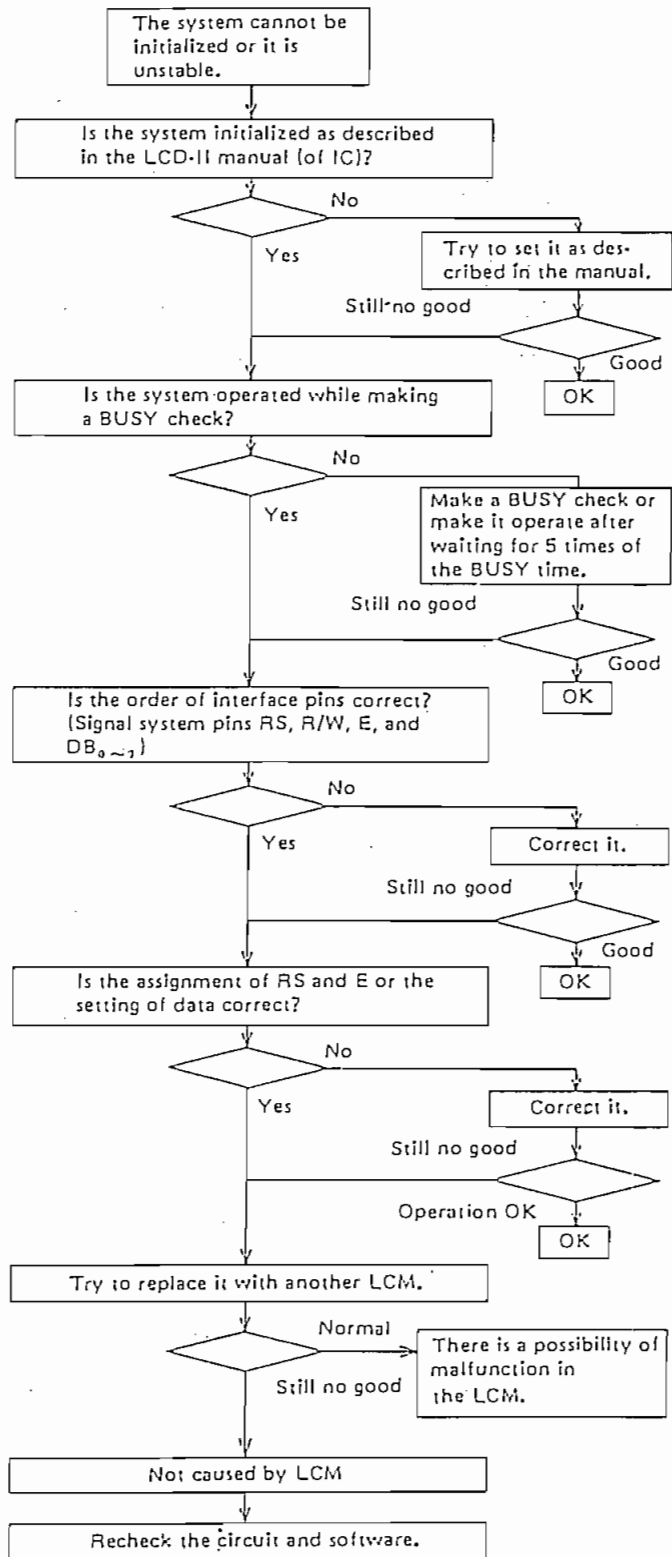


SECTION 6

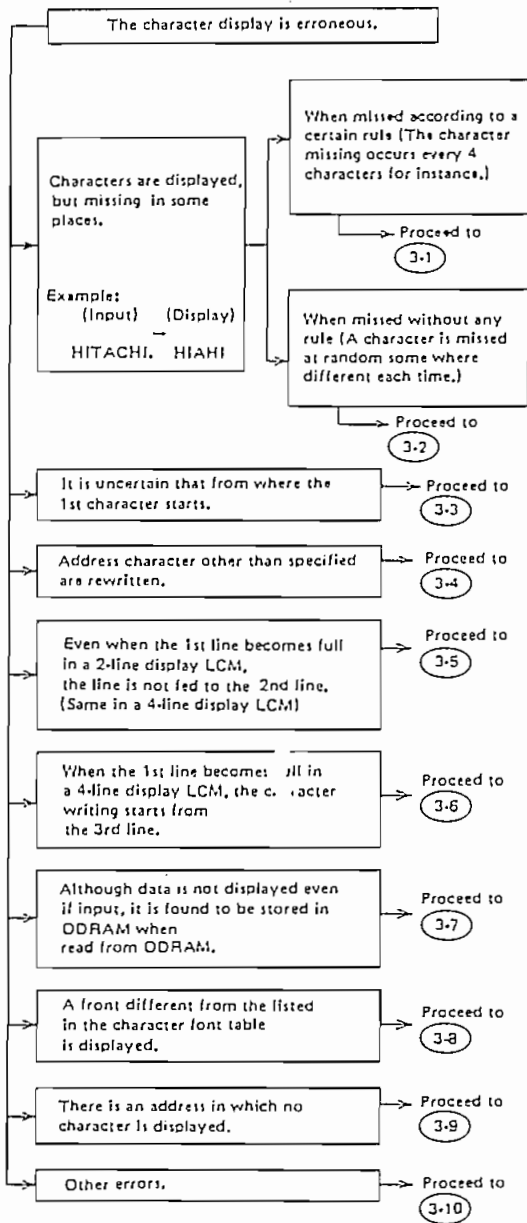
7.1 No data is displayed (Crosstalk too)



The system cannot be initialized or it is unstable.



7.3 The character display is erroneous.



3-1 Data is fed too fast. → Retry it while making a BUSY check. It is still too fast even when the BUSY check is made. → The function of LCD-II is no good.

3-2 Data is fed too fast. → Retry it while making a BUSY check.

3-3 The address Set command is not included in the initialization.

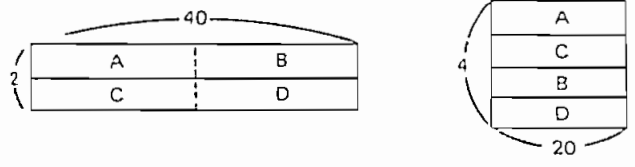
→ Although the address is so designed to be set to "00" at the power ON according to the Power ON Reset function of the LCD-II itself, this Power ON Reset function does not work in some cases according to the power ON conditions.

3-4 When no error exists in the software, the function of LCD-II is no good.

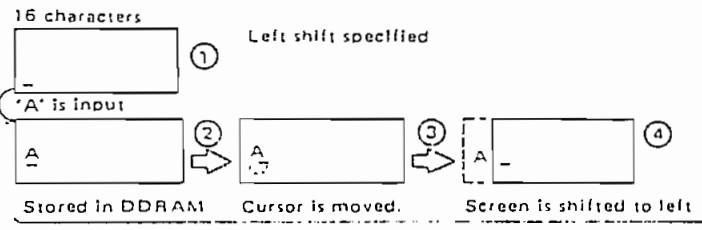
3-5 The 2-line display LCM is electrically composed of 40 characters x 2 lines, but it displays 16 characters or 20 characters partly. When 16 characters are written (in the 1st line) and the data at the 17th character is input as it is, it is entered in the 17th character in the 1st line and its is neither displayed on the screen. It is therefore necessary to set the address [LF] between the 16th character and 17th character.



3-6 The 4-line display LCM is composed as shown in the right figure. Consequently, when written continuously from the 1st line, the data is written as A - B. When displayed in 4 lines, the data is moved from the 1st line to the 3rd line. It is therefore necessary to set the address of [LF] in this case.



3-7 The display ON/OFF flag is turned to the OFF side. (This flag is by no means set unless turned to the ON side.) When employing the shift function together, the screen is shifted each time a data is written and the data can not be seen on the screen in some cases. It is therefore necessary to correct the application of the shift function.



\* Since this operation is carried out in a moment, what can be seen is the status of 1 and 4 only. Although not displayed in appearance, the data is stored in the DDRAM.

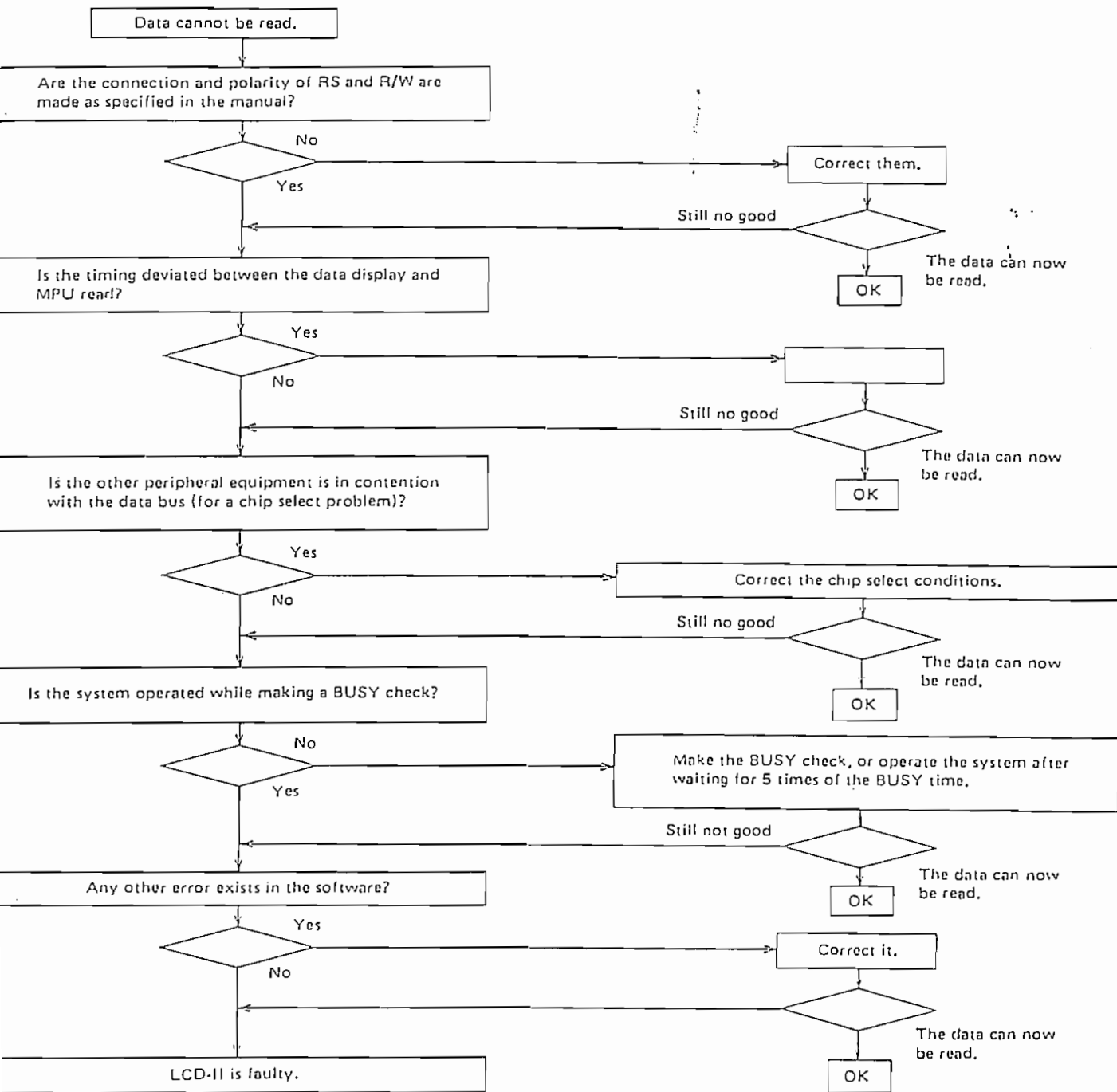
3-8 Defective CGROM font - IC is faulty.

3-9 If no error exists in the software, the IC is faulty.

3-10 Contact our agent for any other erroneous event.



Data cannot be read



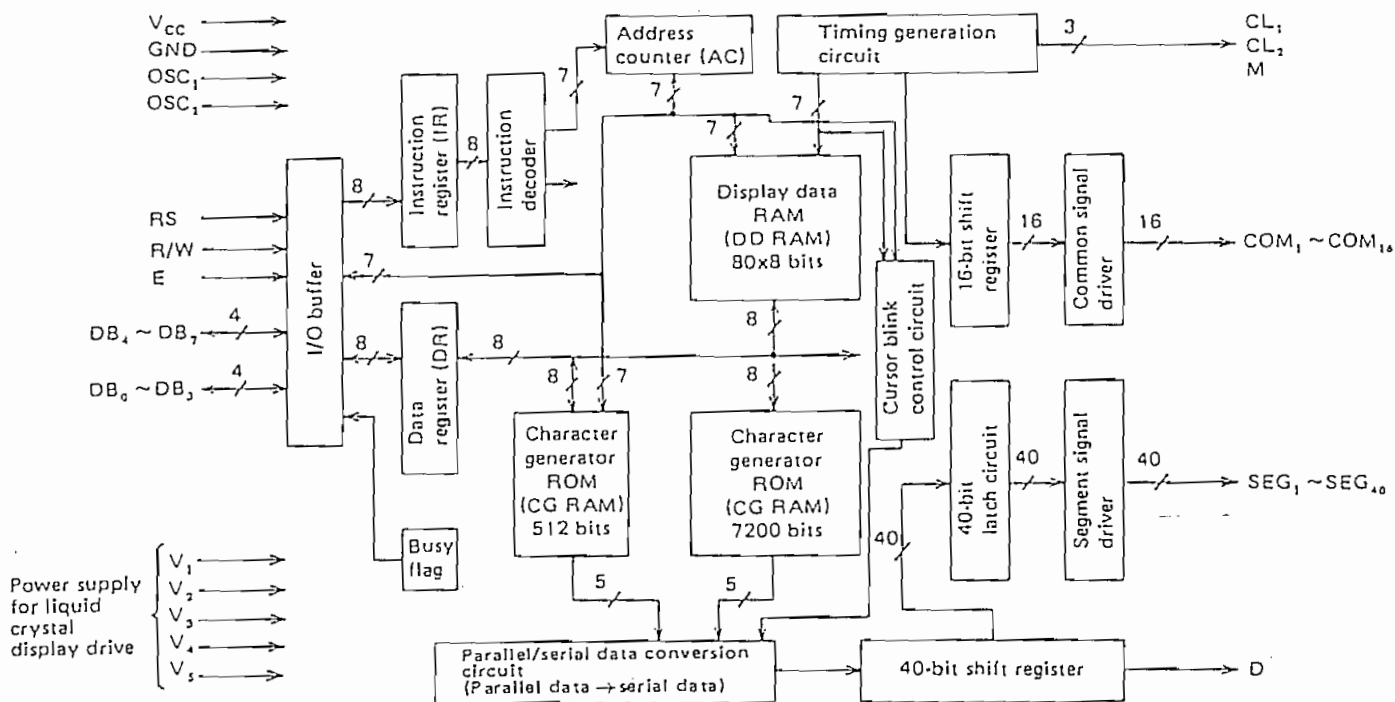
Others

Others

- Check the following:
- Use conditions
  - Erroneous events
  - Contents of operation before and after the error event occurrence
  - Flowchart, if possible. (The program, if given, can not be decoded )

8. Block diagram and function of each block

8.1 Block diagram of HD44780 interior



8.2 Function of each block

(1) Register

The HD44780 has two 8-bit registers, an instruction register (IR) and a data register (DR).

The IR stores instruction codes such as display clear and cursor shift, and address information for display data RAM (DD RAM) and character generator RAM (CG RAM). The IR can be written from the MPU but not read by the MPU.

The DR temporarily stores data to be written into the DD RAM or the CG RAM and data to be read out from DD RAM or CG RAM. Data written into the DR from the

MPU is automatically written into the DD RAM or the CG RAM by internal operation. The DR is also used for data storage when reading data from the DD RAM or the CG RAM. When address information is written into the IR, data is read into the DR from the DD RAM or the CG RAM by internal operation. Data transfer to the MPU is then completed by the MPU reading DR. After the MPU reads the DR, data in the DD RAM or CG RAM at the next address is sent to the DR for the next read from the MPU. Register selector (RS) signals make their selection from these two registers.

Table 4 Register selection

RS	R/W	E	Operation
0	0		IR write as internal operation (Display clear, etc.)
0	1		Read busy flag (DB <sub>7</sub> ) and address counter (DB <sub>0</sub> ~ DB <sub>6</sub> )
1	0		DR write as internal operation (DR to DD or CG RAM)
1	1		DR read as internal operation (DD or CG RAM to DR)

(2) Busy flag (BF)

When the busy flag is "1", the HD44780 is in the internal operation mode, and the next instruction will not be accepted. As Table 4 shows, the busy flag is output to DB<sub>7</sub> when RS = 0 and R/W = 1. The next instruction must be written after ensuring that the busy flag is "0".

(3) Address counter (AC)

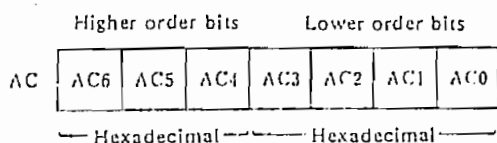
The address counter (AC) assigns addresses to DD and CG RAMs. When an instruction for address is written in IR, the address information is sent from IR to AC. Selection of either DD or CG RAM is also determined concurrently by the instruction.

After writing into (or reading from) DD or CG RAM display data, AC is automatically incremented by +1 (or decremented by -1). AC contents are output DB<sub>0</sub> ~ DB<sub>6</sub> when RS = 0 and R/W = 1, as shown in Table 4.

(4) Display data RAM (DD RAM)

The display data RAM (DD RAM) stores display data represented in 8-bit character codes. Its capacity is 80 x 8 bits, or 80 characters. The display data RAM (DD RAM) that is not used for display can be used as a general data RAM. Relations between DD RAM addresses and positions on the liquid crystal display are shown below.

The DD RAM address (A<sub>DD</sub>) is set in the Address Counter (AC) and is represented in hexadecimal.



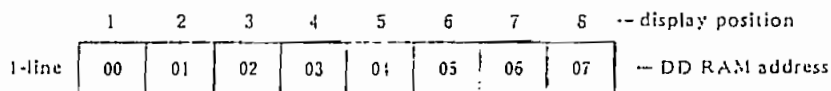
(Ex.) DD RAM address "4E"



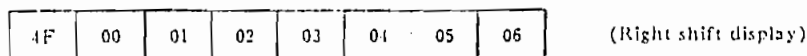
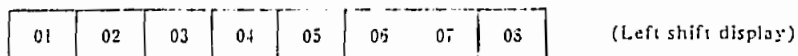
1-line display (N = 0)



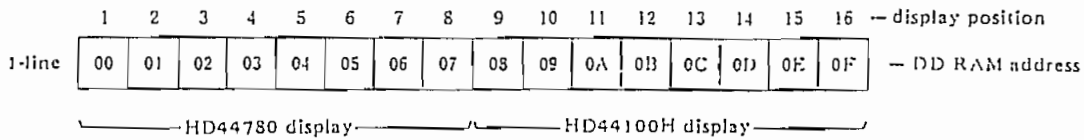
(a) When the display characters are less than 80, the display begins at the head position. For example, 8 characters using one HD44780 are displayed as:



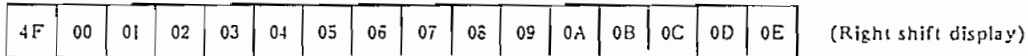
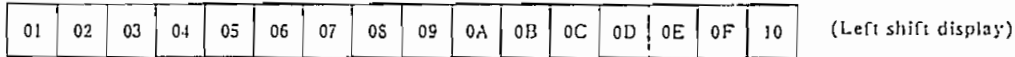
When the display shift operation is performed, the DD RAM address moves as:



a) 16-character display using an HD44780 and an HD44100H is as shown below:

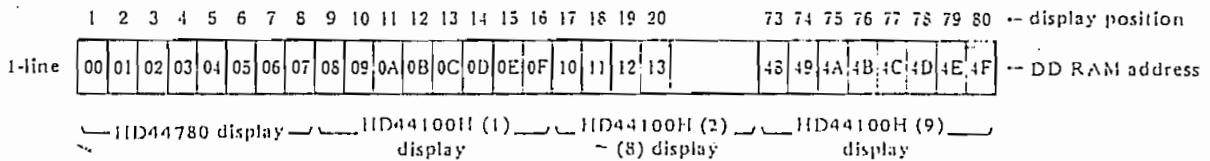


When the display shift operation is performed, the DD RAM address moves as:

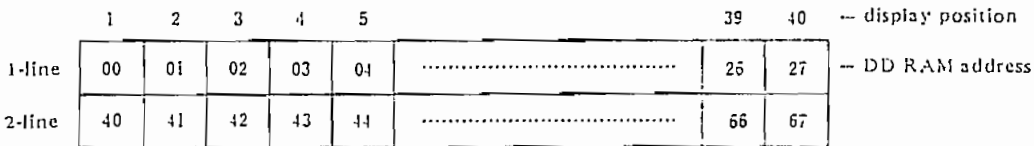


b) The relation between display position and DD RAM address when the number of display digits is increased through the use of one HD44780 and two or more HD44100H's can be considered an extension of (b).

Since the increase can be 8 digits for each additional HD44100H, up to 80 digits can be displayed by externally connecting 9 HD44100H's.

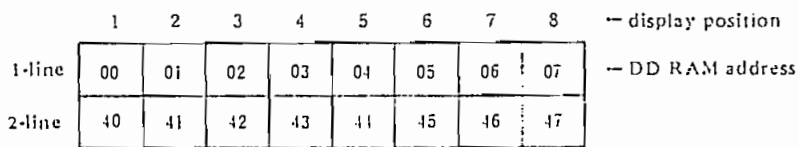


2-line display (N = 1)

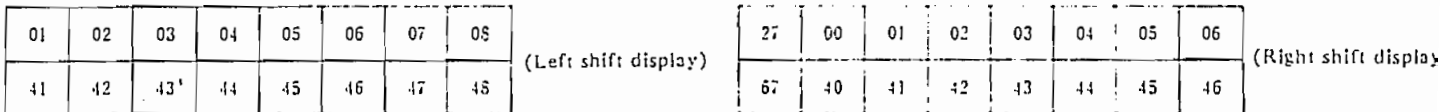


a) When the number of display characters is less than 40 x 2 lines, the 2 lines from the head are displayed. Note that the first line end address and the second line start address

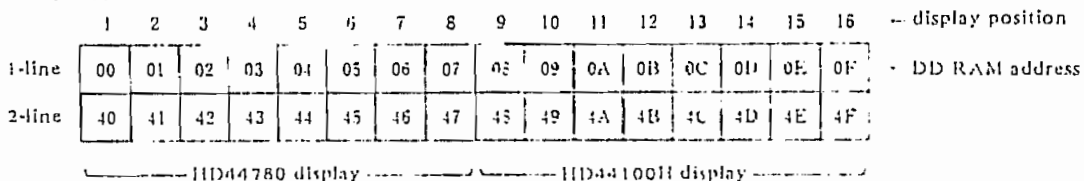
are not consecutive. For example, when an HD44780 is used, 8 characters x 2 lines are displayed as:



When display shift is performed, the DD RAM address move as:



b) 16 character x 2 line are displayed when an HD44780 and an HD44100H are used



When display shift is performed, the DD RAM address moves as follows:

01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F	10
41	42	43	44	45	46	47	48	49	4A	4B	4C	4D	4E	4F	50

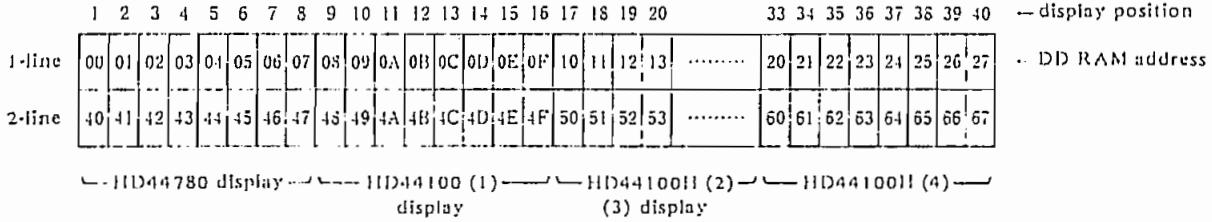
(Left shift display)

27	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E
67	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	4A	4B	4C	4D	4E

(Right shift display)

The relation between display position and DD RAM address when the number of display digits is increased by using one HD44780 and two or more HD44100H's, can be considered an extension of (b).

Since the increase can be 8 digits x 2 lines for each additional HD44100H, up to 40 digits x 2 lines can be displayed by connecting 4 HD44780's externally.



Display position and DD RAM address for LM020L.

Character NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
DD RAM address	00	01	02	03	04	05	06	07	40	41	42	43	44	45	46	47

(Note) Shift display is as same as that of 8 char. x 2 line type.

Display position and DD RAM address for LM041L.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	-- display position
1-line	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F	-- DD RAM address
2-line	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	4A	4B	4C	4D	4E	4F	
3-line	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	1A	1B	1C	1D	1E	1F	
4-line	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	5A	5B	5C	5D	5E	5F	

Display position and DD RAM address for LM044L.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	-- display position
1-line	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F	10	11	12	13	-- DD RAM address
2-line	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	4A	4B	4C	4D	4E	4F	50	51	52	53	
3-line	14	15	16	17	18	19	1A	1B	1C	1D	1E	1F	20	21	22	23	24	25	26	27	
4-line	54	55	56	57	58	59	5A	5B	5C	5D	5E	5F	60	61	62	63	64	65	66	67	

(Note) Shift display is as same as 2-line type.

5) Character generator ROM (CG ROM)

The character generator ROM generates 5 x 7 dot or 5 x 10 dot character patterns from 8-bit character codes. It can generate 160 types of 5 x 7 dot character patterns and 32 types of 5 x 10 dot character patterns. Tables 5(1) and 5(2) show the relation between character codes and character patterns in the Hitachi standard HD44780A00. User defined character patterns are also available by mask-programming ROM. For details, see "The LCD-II (HD44780) Breadboard User's Manual".

6) Character generator RAM (CG RAM)

The character generator RAM is the RAM with which the user can rewrite character patterns by program. With 5 x 7 dots, 8 types of character patterns can be written and with 5 x 10 dots 4 types can be written. Write the character codes in the left columns of Tables 6(1) and 6(2) to display character patterns stored in CG RAM.

Table 5 shows the relation between CG RAM addresses and data and display patterns.

As Table 5 shows, an area that is not used for display can be used as a general data RAM.

(7) Timing generation circuit

The timing generation circuit generates timing signals to operate internal circuits such as DD RAM, CG ROM and CG RAM. RAM read timing needed for display and internal operation timing by MPU access are separately generated so they do not interfere with each other. Therefore, when writing data to the DD RAM, for example, there will be no undesirable influence, such as flickering, in areas other than the display area. This circuit also generates timing signals to operate the externally connected driver LSI HD44100H.

(8) Liquid crystal display driver circuit

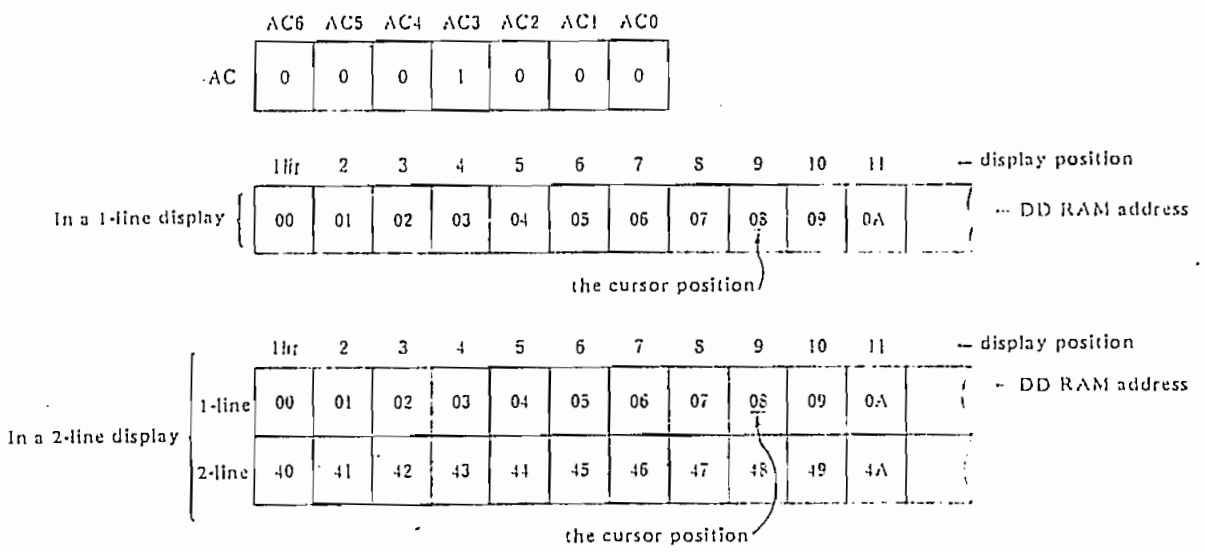
The liquid crystal display driver circuit consists of 16 common signal drivers and 40 segment signal drivers. When character font and number of lines are selected by a program, the required common signal drivers automatically output drive waveforms, the other common signal drivers continue to output non-selection waveforms. The segment signal driver has essentially the same configuration as the driver LSI HD44100H. Character pattern data is sent serially through a 40-bit shift register and latched when all needed data has arrived. The latched data controls the driver for generating drive waveform outputs.

The serial data is sent to the HD44100H, externally connected in cascade, used for display digit number extension. Send of serial data always starts at the display data character pattern corresponding to the last address of the display data RAM (DD RAM). Since serial data is latched when the display data character pattern, corresponding to the starting address, enters the internal shift register, the HD44780 drives the head display. The rest displays, corresponding to latter addresses, are added with each additional HD44100H.

(9) Cursor/Blink control circuit

This is the circuit that generates the cursor or blink. The cursor or the blink appear in the digit residing at the display data RAM (DD RAM) address set in the address counter (AC).

When the address counter is  $(08)_{16}$ , a cursor position is:



(Note) The cursor or blink appears when the address counter (AC) selects the character generator RAM (CG RAM). But the cursor and blink are meaningless. The cursor or blink is displayed in the meaningless position when AC is the CG RAM address.

# RESPONDENCE BETWEEN CHARACTER CODES AND CHARACTER PATTERN

x 10 dot, applied type: H2570, H2571, H2572, LM027

Higher Lower 4bit	0000	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1010	1011	1100	1101	1110	1111
xxxx0000	CG RAM (1)		0	a	P	'	q		-	9	E	e	p
xxxx0001	(2)	!	1	A	0	a	9	,	7	7	4	3	q
xxxx0010	(3)	"	2	R	b	r	'	4	u	x		p	e
xxxx0011	(4)	*	3	C	S	c	s	,	7	t	E	e	e
xxxx0100	(5)	\$	4	D	T	d	t	,	I	t	P	p	a
xxxx0101	(6)	%	5	E	U	e	u	,	7	*	1	e	o
xxxx0110	(7)	&	6	F	U	f	u	,	7	7	7	p	z
xxxx0111	(8)	'	7	G	W	g	w	,	7	7	7	g	n
xxxx1000	(1)	(	8	H	K	h	k	,	7	*	1	r	x
xxxx1001	(2)	)	9	I	V	i	v	,	7	7	7	y	y
xxxx1010	(3)	*	#	J	Z	j	z	,	7	7	7	j	#
xxxx1011	(4)	+	#	K	L	k	l	,	7	7	7	*	n
xxxx1100	(5)	,	<	L	M	l	m	,	7	7	7	+	n
xxxx1101	(6)	-	=	N	O	n	o	,	7	7	7	t	+
xxxx1110	(7)	.	>	N	O	n	o	,	7	7	7	n	
xxxx1111	(8)	/	7	O	L	o	l	,	7	7	7	o	

238

CG RAM is a character generator RAM having a storage function of character pattern which enable to change freely by users program. When line setting at initialization is 2 lines (N = 1), pattern becomes 5 x 7 dot.

5 x 7 dot, applied type: LM054, H2570, LM015, LM568AF, LM020L, LM070L, LM038, LM027, H2571, H2572, LM058, LM052L, LM016L, LM032L, LM060L, LM017L, LM018L, LM041L, LM044L, LM068L, LM061L, LM104L, LM105L, LM107L

Higher Lower 4bit +bit	0000	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1010	1011	1100	1101	1110	1111
xxxx0000	CG RAM (1)		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
xxxx0001	(2)	!	1	0	a	q	u	7	7	4	8	0	
xxxx0010	(3)	"	2	R	b	r	r	f	4	u	y	e	e
xxxx0011	(4)	#	3	C	S	c	s	u	o	t	e	e	e
xxx x0100	(5)	*	4	D	T	d	t	l	T	T	f	u	o
xxx x0101	(6)	%	5	E	U	e	u	=	7	7	7	0	0
xxx x0110	(7)	&	6	F	U	f	u	7	0	7	0	0	0
xxx x0111	(8)	'	7	G	W	g	w	7	7	7	7	0	π
xxx x1000	(1)	(	8	H	h	x	4	0	0	0	0	0	0
xxx x1001	(2)	)	9	I	i	y	9	7	0	0	0	0	0
xxx x1010	(3)	*	:	1	z	1	z	1	0	0	0	0	0
xxx x1011	(4)	+	;	K	k	(	7	0	0	0	0	0	0
xxx x1100	(5)	,	<	L	l	1	1	1	0	0	0	0	0
xxx x1101	(6)	-	=	M	m	)	3	2	0	0	0	0	0
xxx x1110	(7)	.	>	N	n	+	3	0	0	0	0	0	0
xxx x1111	(8)	/	?	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Note: CG ROM is a character generator RAM having a storage function of character pattern which enable to change freely by users program.



Relation between CG RAM addresses and character code (DD RAM) and character pattern (CG RAM data).

5 x 7 dot character pattern

Character Codes (DD RAM Data)								CG RAM Address								Character Patterns (CG RAM Data)																		
7	6	5	4	3	2	1	0	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0													
--Higher--				Lower--				--Higher--				Lower--				--Higher--				Lower--														
0 0 0 0 * 0 0 0 0								0 0 0								0	0	0	x x x								1	1	1	1	0			
																0	0	1	↑								1	0	0	0	0	1		
																0	1	0	↓								1	0	0	0	0	1		
																0	1	1	↑								1	1	1	1	0			
																1	0	0	↓								1	0	0	0	0	1		
																1	0	1	↑								1	0	0	0	0	1		
																1	1	0	↓								1	0	0	0	0	1		
0 0 0 0 * 0 0 0 1								0 0 1								0	0	0	x x x								1	0	0	0	0	1		
																0	0	1	↑								0	1	0	1	0			
																0	1	0	↓								1	1	1	1	1			
																0	1	1	↑								0	0	1	0	0			
																1	0	0	↓								1	1	1	1	1			
																1	0	1	↑								0	0	1	0	0			
																1	1	0	↓								0	0	1	0	0			
0 0 0 0 * 1 1 1								1 1 1								0	0	0	x x x															
																0	0	1	↑															
																1	0	0	↓															
0 0 0 0 * 1 1 1								1 1 1								1	0	0	x x x															
																1	0	1	↑															
																1	1	0	↓															
																1	1	1	↑															

Character Pattern Example (1)

Cursor Position

Character Pattern Example (2)

\* No effect

Character code bits 0 ~ 2 correspond to CG RAM address bits 3 ~ 5 (3 bits: 8 types).  
 CG RAM address bits 0 ~ 2 designate character pattern line position. The 8th line is the cursor position and display is performed in logical OR by the cursor.  
 Maintain the 8th line data, corresponding to the cursor display position, in the "0" state for cursor display. When the 8th line data is "1", bit 1 lights up regardless of cursor existence.  
 Character pattern row positions correspond to CG RAM data bits 0 ~ 4, as shown in the figure (bit 4 being at the left end). Since CG RAM data bits 5 ~ 7 are not used for display, they can be used for the general data RAM.  
 As shown in Tables 3 and 4, CG RAM character patterns are selected when character code bits 4 ~ 7 are all "0". However, since character code bit 3 is an ineffective bit, the "R" display in the character pattern example, is selected by character code "00" (hexadecimal) or "08" (hexadecimal).  
 "1" for CG RAM data corresponds to selection for display and "0" for non-selection.

!) For 5 x 10 dot character pattern

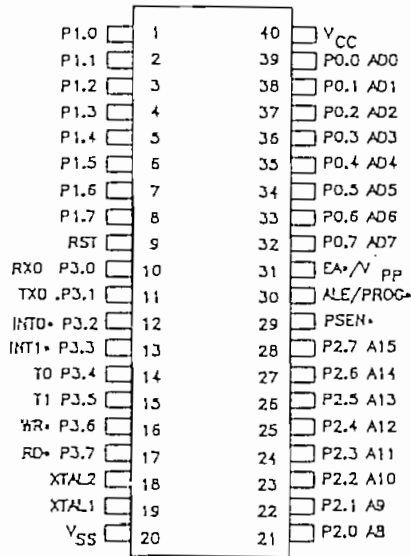
Character Codes (DD RAM Data)								CG RAM Address								Character Patterns (CG RAM Data)																
7	6	5	4	3	2	1	0	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0											
Higher				Lower				Higher				Lower				Higher				Lower												
0 0 0 0 x 0 0 x								0 0								0	0	0	0	0	0	0	0	x	x	x	0	0	0	0	0	Character Pattern Example
																0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
																0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
																0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
																0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
																0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	
																0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	
																0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	
																1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
																1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	
0 0 0 0 x 1 1 x								1 1								1	0	1	1	1	1	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	* No effect
																1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	
																1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	
																1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	
																1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	
																0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
																0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
																0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
																0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
																0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

- 1: Character code bits 1, 2 correspond to CG RAM address bits 4, 5 (2 bits: 4 types).
- 2: CG RAM address bits 0 ~ 3 designate character pattern line position. The 11th line is the cursor position and display is performed in logical OR with cursor. Maintain the 11th line data corresponding to the cursor display position in the "0" state for cursor display. When the 11th line data is "1", bit 1 lights up regardless of cursor existence. Since the 12th ~ 16th lines are not used for display, they can be used for the general data RAM.
- 3: Character pattern row positions are the same as 5 x 7 dot character pattern positions.
- 4: CG RAM character patterns are selected when character code bits 4 ~ 7 are all "0". However, since character code bit 0 and 3 are ineffective bits, "P" display in the character pattern example is selected by character code "00", "01", "08" and "09" (hexadecimal).
- 5: "1" for CG RAM data corresponds to selection for display and "0" for non-selection.

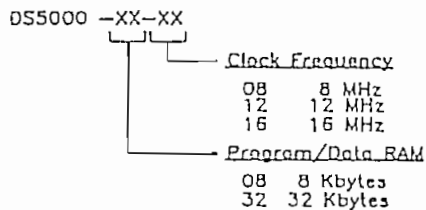
FEATURES

- 8-bit uC adapts to task-at-hand:
  - 8 or 32 Kbytes of high performance nonvolatile RAM for Program and/or RAM for Program and/or Data Memory storage
  - Initial downloading of software in end system via on-chip serial port
  - Capable of modifying its own Program and/or Data Memory in end use
  - 128 internal nonvolatile registers for variable retention
- Crashproof operation:
  - Maintains all nonvolatile resources for 10 years in the absence of  $V_{CC}$
  - Orchestrates orderly shutdown and automatic restart on power up/down
  - Automatic restart on detection of errant software execution
- Software Security Feature:
  - Executes encrypted software to prevent unauthorized disclosure
- On-chip full duplex serial I/O port
- Two on-chip timer/event counters
- 32 parallel I/O lines
- Compatible with Industry standard 8051 Instruction set and pinout

PIN CONNECTIONS



ORDERING INFORMATION



DESCRIPTION

The DS5000 is a high performance 8-bit CMOS microcontroller that offers "softness" in all aspects of its application. This is accomplished through the comprehensive use

of nonvolatile technology to preserve all information in the absence of system  $V_{CC}$ . The entire Program/Data Memory space is implemented using high speed, nonvolatile

---

static CMOS RAM. Two memory size versions are available which offer either 8 Kbytes or 32 Kbytes of NVRAM for Program/Data storage. Furthermore, internal data registers and key configuration registers are also non-volatile.

A major benefit resulting from its nonvolatility is that the Soft Microcontroller allows Program Memory to be changed at any time, even after the device has been installed in the end system. Additionally, the size of the Program and Data Memory areas in the embedded RAM is variable and can be set either when the application software is initially loaded or by the software itself during execution.

Initial loading of the application software into the DS5000 is possible from either a parallel or serial interface to a host system. This function allows initialization of the nonvolatile areas of the device including Program/Data RAM and the configuration parameters. Serial loading uses the on-chip serial I/O port to accept incoming data from a host computer with an RS232 port, such as a PC-based development system. Not only is it possible to initially boot via the serial port in the end system but any subsequent software reloading can be made at will during system operation without the need for removal of the device.

The softness also provides the ultimate in adaptive system design by allowing either the Data RAM or the Data Registers to retain information in the absence of  $V_{CC}$ . As a result, a virtually unlimited number of variables and/or data tables can be updated and maintained over the life of the product, as opposed to their being lost during a power fluctuation. This capability allows software to be developed which updates variables and data tables to reflect the cumulative knowledge of the control system from the time that it was put into

service. Consequently, control systems can be given the ability to learn from experience and react by altering processing steps in response to operating conditions which change over extended periods of time.

The DS5000 Soft Microcontroller incorporates control functions which provide crash recovery operation when system power is momentarily disrupted, or removed entirely. These functions include the Power Fail Warning interrupt, Automatic Power Down, and Power On start. The Power Fail Warning interrupt provides an early warning of a potential power failure so that the operational state of the system may be stored prior to a complete removal of system  $V_{CC}$ . The Automatic Power Down feature causes all nonvolatile registers to be sustained at low current from the embedded lithium energy source while system power is removed. When  $V_{CC}$  voltage is applied again, the processor is automatically started with an internal flag set indicating a Power On sequence has just been formed. Regardless of whether the power merely fluctuates or is absent for years, on its return the Soft Microcontroller has the ability to resume execution when power is applied as if the power failure had not occurred at all.

The Soft Microcontroller's tolerance for power cycling provides an alternative for battery-powered hand-held systems which drain their batteries during periods of inactivity when processing is not being performed. Power off power cycling can be employed in such systems to consume battery power during processing to ensure a dramatic reduction of the overall power dissipation.

The DS5000 also provides extensive security with its unique on-chip encryption logic. This feature pro-

authorized individuals from reading and disassembling Program/Data RAM. When activated, the device loads and executes the software in an encrypted form, rendering the contents of the RAM and the execution of the program unintelligible to the outside observer. The encryption algorithm uses an internally stored and protected 40-bit key which is programmed by the user. Any attempt to discover the key value results in its erasure, rendering the contents of the Program/Data RAM useless. In this manner, the investment represented by the resident software is protected from piracy.

The DS5000 incorporates these unique functions in a device which is instruction set and

pin compatible with the industry standard 8051 microcontroller architecture. Development work for new designs based on the DS5000 may be performed utilizing existing development tools and software packages which support the 8051 architecture.

The DS5000 also provides a full complement of I/O functions including two 16-bit event counter/timers, a full duplex serial I/O port capable of asynchronous or synchronous operation, 32 parallel I/O lines, and a watchdog timer. If additional external memory is desired beyond the embedded Program/Data RAM, 18 parallel I/O lines may be assigned to serve the Expanded Bus function.

#### PIN DESCRIPTION

NOTE: All inverted signal names are denoted with an asterisk (\*) as a suffix to the signal name (e.g. INT0\*). This convention is followed throughout this document.

V <sub>cc</sub> , GND	Power Supply inputs.
P0.7-P0.0	Port 0: Bidirectional I/O; open drain These pins also serve the function of:
AD7-AD0	Address/Data Bus: Bidirectional
P1.7-P1.0	Port 1: Bidirectional I/O
P2.7-P2.0	Port 2: Bidirectional I/O These pins also serve the function of:
A15-A8 -	Address Bus: Outputs
P3.7-P3.0	Port 3: Bidirectional I/O Each of the pins on Port 3 may be selected to serve an alternate function; as described below:
RD* (P3.7)	Expanded Data Memory Read Strobe: Output; active low

WR* (P3.6)	Expanded Data Memory Write Strobe: Output; active low
T1, T0 (P3.5, P3.4)	Timer/Counter pins: Inputs; active high
INT1*, INT0* (P3.3, P3.2)	External interrupt pins: Inputs; active low
TXD (P3.1)	Transmit Data: Output
RXD (P3.0)	Receive Data: Input
RST	Reset: Input; active high
ALE (PROG*)	Address Latch Enable: Output; active high (or Program Byte Enable: Input; active low)
PSEN*	Program Store Enable: Output; active low
EA* (VPP)	External Access Enable: Input; active low (or VPP programming voltage input)
XTAL1, XTAL2	Crystal Inputs

#### INSTRUCTION SET

The DS5000 executes an instruction set which is object code compatible with the industry standard 8051 microcontroller. As a result, software development packages which have been written for the 8051 are compatible with the DS5000 including cross-assemblers, high-level language compilers, and debugging tools.

A complete description for the DS5000 instruction set is available in the DS5000 User's Guide (part # DS5000G).

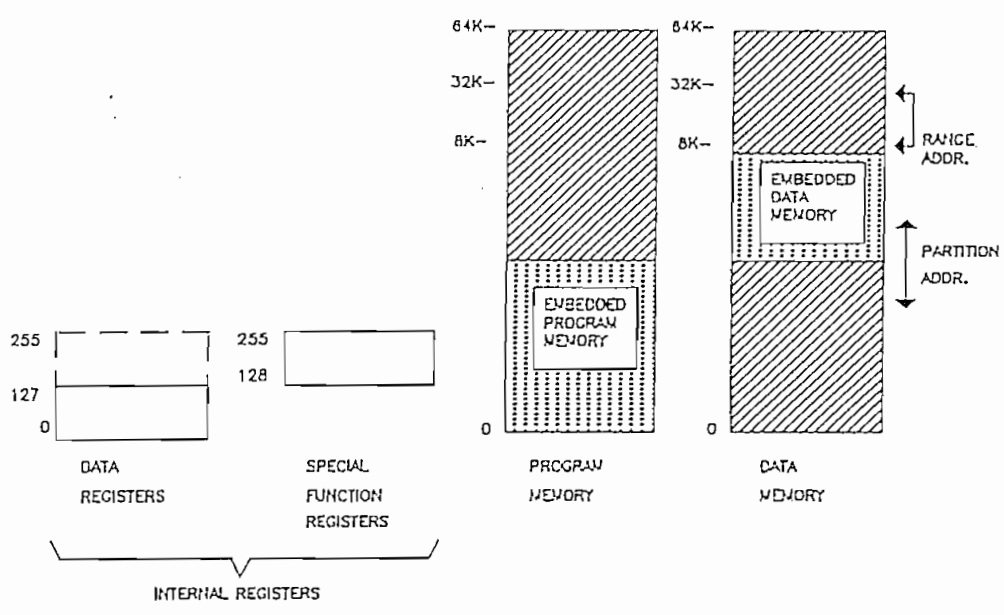
#### MEMORY ORGANIZATION

Figure 1 illustrates the address spaces which are accessed by the DS5000. As illustrated in the figure, separate address spaces exist for Program and Data Memory.

Since the basic addressing capability of the machine is 16-bits, a maximum of 64 Kbytes of Program Memory and 64 Kbytes of Data Memory can be accessed by the DS5000 CPU. The 8K or 32K byte embedded RAM area can be used to contain both Program and Data Memory.

The Internal Register space is divided into two parts: Data Registers and Special Function Registers. There are a total of 128 Data Registers including four 8-byte banks of working registers (R0-R7). The Special Function Registers include the CPU Registers as well as registers which provide control and status information for the Program and Data Memory mapping, non-volatile operation, and on-chip I/O functions.

DS5000 LOGICAL ADDRESS SPACES Figure 1



4

**SPECIAL FUNCTION REGISTERS**

There are a total of 23 Special Function Registers which have been implemented in the DS5000. Table 5-1 lists each of these along with their respective addresses, reset values, and functional descriptions.

DS5000 SPECIAL FUNCTION REGISTER MAP Table 1

New or Modified Register	Label	Direct Register Address	Reset Value	Bit addressable	Functional Description
	B	0F0H	00H	X	B Register
	A	0E0H	00H	X	Accumulator
	PSW	0D0H	00H	X	Program Status Word
X	TA	0C7H	055H		Timed Access
X	MCON	0C6H	RT		Memory Control
X	IP	0B8H	00H	X	Interrupt Priority Ctl.
	P3	0B0H	0FFH	X	Port 3 Parallel I/O
	IE	0A8H	00H	X	Interrupt Enable Ctl.
	P2	0A0H	0FFH	X	Port 2 Parallel I/O
	SBUF	099H	??		Serial Data Buffer
	SCON	098H	00H	X	Serial Control
	P1	090H	0FFH	X	Port 1 Parallel I/O
	TH1	08DH	00H		Timer 1 High Byte
	TH0	08CH	00H		Timer 0 High Byte
	TL1	08BH	00H		Timer 1 Low Byte
	TL0	08AH	00H		Timer 0 Low Byte
	TMOD	089H	00H		Timer Mode Select
	TCON	088H	00H	X	Timer Control
X	PCON	087H	RT		Power Control
	DPH	083H	00H		Data Pointer High Byte
	DPL	082H	00H		Data Pointer Low Byte
	SP	081H	07H		Stack Pointer
	P0	080H	0FFH	X	Port 0 Parallel I/O

## NOTES:

?? indicates that the register value is indeterminate on reset.

RT indicates that the initialization performed on the register is dependent on the type of the reset.



The Power Control (PCON), Interrupt Priority (IP), Memory Control (MCON), and Timed Access (TA) registers represent modifications from the 8051 implementation, as denoted in the above table. The following is a detailed summary of these registers.

### POWER CONTROL REGISTER

Label: PCON							Register Address: 087H
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
SMOD	POR	PFW	WTR	EPFW	EWT	STOP	IDL

#### Bit Description:

##### PCON.7 SMOD

###### "Double Baud

Rate": When set to a 1, the baud rate is doubled when the serial port is being used in modes 1, 2, or 3.

Initialization: Cleared to a 0 on any reset.

Read Access: Can be read normally at any time.

Write Access: Can be written normally at any time.

##### PCON.6 POR\*

###### "Power On

Reset": Indicates that the previous reset was initiated during a Power On sequence.

Initialization: Cleared to a 0 when a Power On Reset occurs. Remains at 0 until it is set to a 1 by software.

Read Access: Can be read normally at any time.

Write Access: Can be written only by using the Timed Access Register.

##### PCON.5: PFW

###### "Power Fall

Warning": Indicates that a potential power failure is in progress. Set to 1 whenever  $V_{CC}$  voltage is below the  $V_{PFW}$  threshold. Cleared to a 0 immediately following a read operation of the PCON register. Once set, it will remain set until the read operation occurs regardless of activity on  $V_{CC}$ .

Initialization: Cleared to a 0 during a Power On Reset.

Read Access: Can be read normally anytime.

Write Access: Not writeable.

---

**PCON.4: WTR**

"Watchdog

Timer Reset" Set to a 1 when a reset was issued as a result of a Watchdog Timer timeout. Cleared to 0 immediately following a read of the PCON register

Initialization: Set to a 1 after a Watchdog Timeout Reset. Cleared to a 0 on a No- $V_{LL}$  Power on Reset. Remains unchanged during other types of resets.

Read Access: May be read normally anytime.

Write Access: Cannot be written

**PCON.3: EPFW**

"Enable Power

Fall Interrupt": Used to enable or disable the Power Fail interrupt. When EPFW is set to a 1 it will be enabled; it will be disabled when EPFW is cleared to a 0.

Initialization: Cleared to a 0 on any type of reset.

Read Access: Can be read normally anytime.

Write Access: Can be written normally anytime.

**PCON.2: EWT**

"Enable Watchdog Timer"

Used to enable or disable the Watchdog Timeout Reset. The Watchdog Timer is enabled if EWT is set to a 1 and will be disabled if EWT is cleared to a 0.

Initialization: Cleared to a 0 on a No- $V_{LL}$  Power on Reset. Remains unchanged during other types of resets.

Read Access: May be read normally anytime.

Write Access: Can be written only by using the Timed Access register.

**PCON.1: STOP**

"Stop":

Used to invoke the Stop Mode. When set to a 1 program execution will terminate immediately and Stop Mode operation will commence. Cleared to a 0 when program execution resumes following a hardware reset.

Initialization: Cleared to a 0 on any type of reset

Read Access: Can be read anytime.

Write Access: Can be written only by using the Timed Access register.

**PCON.0: IDL**

"Idle":

Used to invoke the Idle Mode. When set to a 1 program execution will be halted and will resume when the Idle bit is cleared to 0 following an interrupt or a hardware reset.

Initialization: Cleared to 0 on any type of reset or interrupt.

Read Access: Can be read normally anytime.

Write Access: Can be written normally anytime.

## INTERRUPT PRIORITY REGISTER

IP	D7	D6	D5	D4	D3	Register Address: 0B8H		
						D2	D1	
	RWT	-	-	PS	PT1	PX1	PT0	PX0

Description:

**RWT**  
**Reset Watchdog Timer:** When set to a 1 the Watchdog Timer count will be reset, and counting will begin again. The RWT bit will then automatically be cleared again to 0. Writing a 0 into this bit has no effect.  
**Initialization:** Cleared to a 0 on any reset.  
**Access:** Cannot be read.  
**Access:** Can be written only by using the Timed Access register.



The following bits are read/write at any time and are cleared to 0 following any hardware reset.

**PS**  
**Serial Port Interrupt Priority:** Programs Serial Port Interrupts for high priority when set to 1. Low priority is selected when cleared to 0.

**PT1**  
**Timer 1 Interrupt Priority:** Programs Timer 1 interrupt for high priority when set to 1. Low priority is selected when cleared to 0.

**PX1**  
**External Interrupt 1 Priority:** Programs External Interrupt 1 for high priority when set to 1. Low priority is selected when cleared to 0.

**PT0**  
**Timer 0 Interrupt Priority:** Programs Timer 0 interrupt for high priority when set to 1. Low priority is selected when cleared to 0.

**PX0**  
**External Interrupt 0 Priority:** Programs External Interrupt 0 for high priority when set to 1. Low priority is selected when cleared to 0.

### MEMORY CONTROL REGISTER

Label: MCON

Register Address: 0C6H

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
PA3	PA2	PA1	PA0	RA32/8	ECE2	PAA	—

Bit Description:

MCON.7-4: PA3-0

"Partition

Address":

Used to select the starting address of Data Memory in Embedded RAM. Program space lies below the Partition Address.

Selection:

<u>PA3</u>	<u>PA2</u>	<u>PA1</u>	<u>PA0</u>	<u>Partition Address</u>
0	0	0	0	0000H
0	0	0	1	0800H
0	0	1	0	1000H
0	0	1	1	1800H
0	1	0	0	2000H
0	1	0	1	2800H
0	1	1	0	3000H
0	1	1	1	3800H
1	0	0	0	4000H
1	0	0	1	4800H
1	0	1	0	5000H
1	0	1	1	5800H
1	1	0	0	6000H
1	1	0	1	6800H
1	1	1	0	7000H *
1	1	1	1	8000H *

\* A 4 Kbyte Increment (not 2 Kbytes) in the Partition Address takes place between bit field values 1110B and 1111B.

Initialization:

Set to all 1's on a No  $V_{LI}$  Power On Reset or when the Security Lock bit is cleared to a 0 from a previous 1 state. These bits are also set to all 1's when any attempt is made to have them cleared to all 0's with the SL bit set to a 1 (illegal condition).

Read Access: May be read anytime.  
Write Access: PAA bit must = 1 in order to write PA3-0. Timed Access is not required to write to PA3-0 once PAA = 1.

**MCON.3: RA32/8**

"Range Address": Sets the maximum usable address in Embedded Memory.  
RA32/8 = 0 sets Range Address = 1FFFH (8K)  
RA32/8 = 1 sets Range Address = 7FFFH (32K)

Initialization: Set to a 1 during a No  $V_{LI}$  Power On Reset and when the Security Lock bit (SL) is cleared to a 0 from a previous 1 state. Remains unchanged on all other types of resets.

Read Access: May be read normally anytime.

Write Access: Cannot be modified by the application software; can only be written during Program Load Mode.



**MCON.2: ECE2**

"Enable Chip Enable 2": Used to enable or disable the CE2\* signal to additional Embedded RAM Data Memory space. This bit should always be cleared to 0 in the DS5000 8 and DS5000 32 versions.

Initialization: Cleared to 0 only during a No  $V_{LI}$  Power On Reset.

Read Access: Read normally anytime.

Write Access: Can be written normally at any time.

**MCON.1: PAA**

"Partition Address Access": Used to protect the programming of the Partition Address select bits. PA3-0 cannot be written when PAA = 0. PAA can be written only via the Timed Access register.

Initialization: PAA is cleared only on a No- $V_{LI}$  Power On Reset

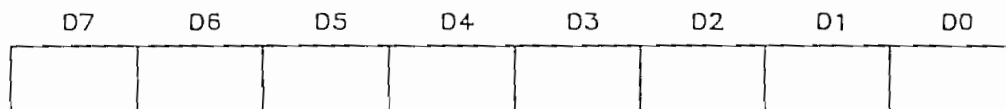
Read Access: PAA may be read anytime.

Write Access: The Timed Access register must be used to perform any type of write operation on the PAA bit

## TIMED ACCESS REGISTER

Label: TA

Register Address: 0C7H



Bit Description:

TAn.n: (All Timed Access bits)

"Timed

Access": Used to invoke a Timed Access procedure required to write to any of the Timed Access protected bits including EWT, RWT, STOP, PAA. Timed Access is activated by three sequential write operations as in the example shown below:

```

MOV    0C7H, 0AAH           ; Write 0AAH to TA register
MOV    0C7H, 055H           ; Write 055H to TA register
ORL    IP,#80H              ; Reset Watchdog Timer
    
```

Initialization: Written with the value of 055H following any type of reset.

Read Access: Cannot be read from the application software

### PROGRAM LOAD MODES

The Program Load Modes allow initialization of the embedded Program/Data Memory and nonvolatile Internal Registers. This initialization may be performed in one of two ways:

1) Parallel Program Load cycles which perform the initial loading from parallel address/data information presented on the I/O port pins. This mode is timing-set compatible with the 8751H microcontroller programming mode.

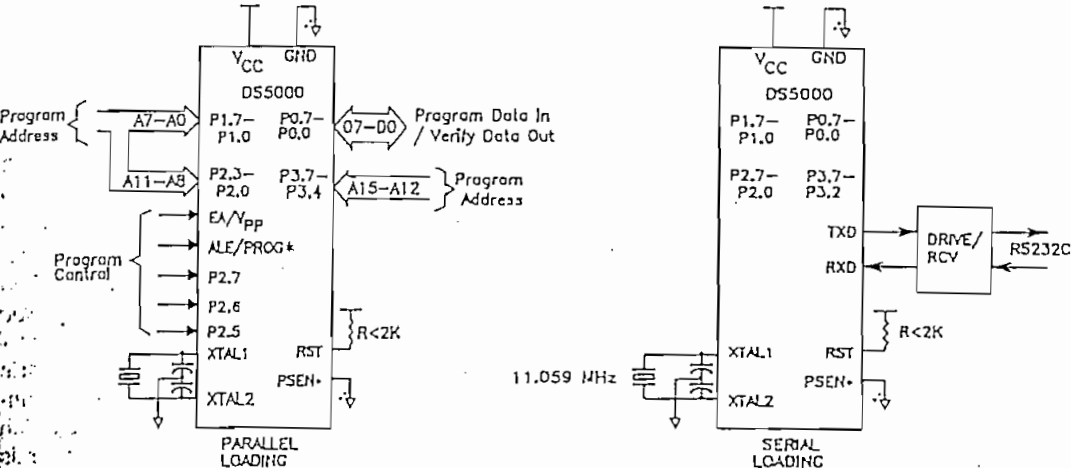
2) Serial Program Loading which is capable of performing bootstrap loading of the DS5000. This feature

allows the loading of the application program to be delayed until the DS5000 is installed in the end system.

The DS5000 is placed in its Program Load configuration by simultaneously applying a logic 1 to the RST pin and forcing the PSEN\* line to a logic 0 level. Immediately following this action, the DS5000 will look for a Parallel Program Load pulse, or a serial ASCII carriage return (0DH) character received at 9600, 2400, 1200, or 300 bps over the serial port.

The hardware configurations used to select these modes of operation are illustrated in Figure 2.

PROGRAM LOADING CONFIGURATIONS Figure 2



4

The table below summarizes the selection of the available Parallel Program Load cycles. Figure 5 illustrates the timing associated with these cycles.

PARALLEL PROGRAM LOAD CYCLES Table 2

Load Mode	RST	PSEN*	PROG*	EA*	P2.7	P2.6	P2.5
Program	1	0	0	VPP	1	0	X
Security Set	1	0	0	VPP	1	1	X
Verify	1	X	X	1	0	0	X
Prog Expanded	1	0	0	VPP	0	1	0
Verify Expanded	1	0	1	1	0	1	0
Prog MCON or key registers	1	0	0	VPP	0	1	1
Verify MCON reg	1	0	1	1	0	1	1

The Program Cycle is used to load a byte of data into a register or memory location within the DS5000. The Verify Cycle is used to read this byte back for comparison with the originally loaded value to verify proper loading. The Security Set Cycle may be used to enable and disable the Software Security feature of the DS5000. One may also enter bytes for the MCON register or for the 5 encryption regis-

ters using the Program MCON cycle. When using this cycle, the absolute register address must be presented at Ports 1 and 2 as in the normal Program cycle (Port 2 should be 00H). The MCON contents can likewise be verified using the Verify MCON cycle.

When the DS5000 first detects a Parallel Program Strobe pulse or a Security Set Strobe

pulse while in the Program Load Mode following a Power On Reset, the internal hardware of the DS5000 is initialized so that an existing 4 Kbyte program can be programmed into a DS5000 with little or no modification. This initialization automatically sets the Range Address for 8 Kbytes and maps the lowest 4 Kbyte bank of Embedded RAM as Program Memory. The next 4 Kbytes of Embedded RAM are mapped as Data Memory.

In order to program more than 4 Kbytes of program code, the Program/Verify Expanded cycles can be used. Up to 32 Kbytes of program code can be entered and verified. Note that the expanded 32Kbyte Program/Verify cycles take much longer than the normal 4 Kbyte Program/Verify cycles.

A typical parallel loading session would follow this procedure. First, set the contents of the MCON register with the correct range and partition only if using expanded programming cycles. Next, the encryption registers can be loaded to enable encryption of the program/data memory (not required). Then, program the DS5000 using either normal or expanded Program cycles and check the memory contents using Verify cycles. The last operation would be to turn on the security lock feature by either a Security Set cycle or by explicitly writing to the MCON register and setting MCON.0 to a 1.

## SERIAL LOAD MODE

The Serial Program Load Mode is the easiest, fastest, most reliable, and most complete method of initially loading application software into the DS5000's nonvolatile RAM. Communication can be performed over a standard asynchronous serial communications port. A typical application would use a simple RS232C serial interface to program the DS5000 as a final production procedure. The hardware configuration which is required for the Serial Program Load Mode is illustrated in Figure 2. *Port pins 2.7 and 2.6 must be either open or pulled high to avoid placing the DS5000 in a parallel load cycle.* Although an 11.0592 MHz crystal is shown in Figure 2, a variety of crystal frequencies and loader baud rates are supported which are shown in Table 3. The serial loader is designed to operate across a three wire interface from a standard UART. The receive, transmit and ground wires are all that are necessary to establish communication with the DS5000.

The Serial Loader implements an easy-to-use command line interface which allows an application program in an Intel Hex representation to be loaded into and read back from the device. Intel Hex is the typical format which existing 8051 cross-assemblers output. The serial loader responds to 11 single character commands which are summarized below:

<u>COMMAND</u>	<u>FUNCTION</u>
C	Return CRC-16 checksum of embedded RAM
D	Dump Intel Hex File
F	Fill Embedded RAM block with constant
K	Load 40-bit Encryption Key
L	Load Intel Hex File
R	Read MCON register
T	Trace (Echo) incoming Intel Hex data
U	Clear Security Lock
V	Verify Embedded RAM with incoming Intel Hex
W	Write MCON register
Z	Set Security Lock



SERIAL LOADER BAUD RATES FOR DIFFERENT CRYSTAL FREQUENCIES\*

Table 3

Crystal freq (MHz)	Baud Rate				
	300	1200	2400	4800	9600
16.000000		Y	Y		
15.000000		Y	Y	Y	Y
14.318180		Y	Y	Y	Y
12.000000		Y	Y	Y	
11.059200	Y	Y	Y	Y	Y
11.000000	Y	Y	Y	Y	Y
10.000000		Y	Y	Y	
9.216000	Y	Y	Y	Y	Y
8.000000		Y			
7.372800	Y	Y	Y	Y	Y
6.144000	Y	Y	Y		
6.000000	Y	Y	Y		
5.990400	Y	Y	Y		
5.120000	Y	Y	Y		
5.068800	Y	Y	Y		
5.000000	Y	Y	Y		
4.915200	Y	Y	Y		
4.608000	Y	Y	Y	Y	
4.433620	Y	Y	Y	Y	
4.194300	Y				
4.096000	Y				
4.032000	Y				
3.579545	Y	Y	Y	Y	Y
2.457600	Y	Y			
2.000000	Y				
1.843200	Y	Y	Y	Y	Y

4

\*Y Indicates that the baud rate for that particular crystal is supported by the DS5000 serial loader auto-baud detection scheme.

## POWER MANAGEMENT

The DS5000 is implemented using CMOS circuitry for low power consumption during full operation. Two software initiated modes are available for further power reduction for times when processing is not required and  $V_{CC}$  is at normal operating voltage. These are the Idle and Stop Modes. In addition, internal control circuitry automatically places the DS5000 in its Data Retention Mode in the absence of  $V_{CC}$ .

The on-chip nonvolatile control circuitry monitors the  $V_{CC}$  for three below nominal operating voltage (Figure 3). When the voltage drops below the Power Fail Warning threshold ( $V_{PFW}$ ) an interrupt will be generated to signal the processor of an impending power fail condition. This is to allow time for a service routine to save the operational state of the microcontroller prior to the  $V_{CC}$  dropping below the  $V_{CCmin}$  threshold. When this occurs, processor operation is automatically terminated by internally halting the clock after the entire circuit has been made ready for the Data Retention Mode. Finally, once  $V_{CC}$  voltage drops below the Lithium cell voltage threshold ( $V_{L1}$ ) power from the embedded lithium cell is applied to place the device in its Data Retention Mode.

When  $V_{CC}$  voltage is again applied to the system, an internal Power On Reset cycle is executed without the need for any external components on the RST pin. In addition, internal status is available to distinguish the Power On Reset from other types of resets.

## SOFTWARE SECURITY

The Software Security feature is implemented using Address and Data Encryptor circuitry which is present on the DS5000 die. Operation of the Software Security feature is performed by manipulation of the 40-bit Encryption Key word and the Security Lock bit while in one of the Program Load modes. Encryption opera-

tion is first initiated by loading the 40-bit Encryption Key word.

When Software Encryption Operation is in effect and the Security Lock is disabled, the application software may be initially stored in an encrypted form during the initial loading of the device using one of the Program Load modes. As the loading is performed, the Data Encryptor logic transforms the opcode, operand, and data byte defined at each memory location defined by the software. Similarly, the Address Encryptor translates the "logical" address of each location into an encrypted address at which the byte is actually stored. Although each encryptor uses its own algorithm for encrypting data, both depend on the 40-bit key word which is contained in the Encryption Key registers (EK0-4).

As long as the Security Lock remains disabled, the actual unencrypted contents of the embedded Program/Data RAM may be read back for verification while in the Program Load mode. Once the contents have been verified, the final action performed during the Program Load Mode should be the enabling of the Security Lock bit. From this point on it will be impossible to read back the unencrypted contents of the Program/Data RAM or the contents of the Encryption Key registers.

When the application software is executed, the Address and Data Encryptors provide the opcodes, operands, and data to the CPU that execution of the application software can take place as normal. This action also takes place in real time so that no additional delays are imposed on the execution time of the software. Thus, the Software Encryption Operation is transparent to the application software.

The Software Encryption Operation is disabled and the contents of the Encryption Key regis-

ters are automatically erased whenever the Security Lock bit is cleared to a 0 from a previous 1 condition. This action renders the contents of the embedded Program/Data RAM useless, so that the application software can no longer be correctly interpreted by the DS5000 CPU. Although the contents of the Program/Data RAM can at this point be read back in a Program Load Mode, they cannot be de-encrypted since the original 40-bit key word has been lost.

#### ADDITIONAL INFORMATION

A complete description for all operational aspects of the DS5000, including an instruction set description, timing details, and electrical specifications is available in the DS5000 User's Guide (part # DS5000G).

#### DEVELOPMENT SUPPORT

Dallas Semiconductor offers two kit packages for developing and testing user code. The DS5000K Evaluation Kit allows the user to download Intel hex formatted code directly to the DS5000 from a PC-XT/AT or compatible computer. The kit consists of a DS5000-32-08, an interface pod, demo software, and an RS-232 connector that attaches to the COM1 or COM2 serial port of a PC.

The DS5000DK Development Kit consists of an assembler and a real-time in-circuit emulator that interfaces to a PC-XT/AT or compatible. See the DS5000K and DS5000DK data sheets for further details.



### SELECTED ELECTRICAL CHARACTERISTICS

The following are selected electrical operating characteristics of the DS5000. A full set of electrical characteristics is available in the DS5000 User's Guide.

#### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS\*

Voltage on any pin relative to ground	-0.1 to 7.0V
Operating Temperature	-0 deg. to 70 deg. C
Storage Temperature	-40 deg. C to +70 deg. C
Soldering Temperature	260 deg. C for 10 sec.

\* This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions outside of those indicated in the operation sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods of time may affect reliability.

#### D.C. CHARACTERISTICS

( $T_A = 0 \text{ deg. C to } 70 \text{ deg. C; } V_{CC} = 5V \pm 10\%$ )

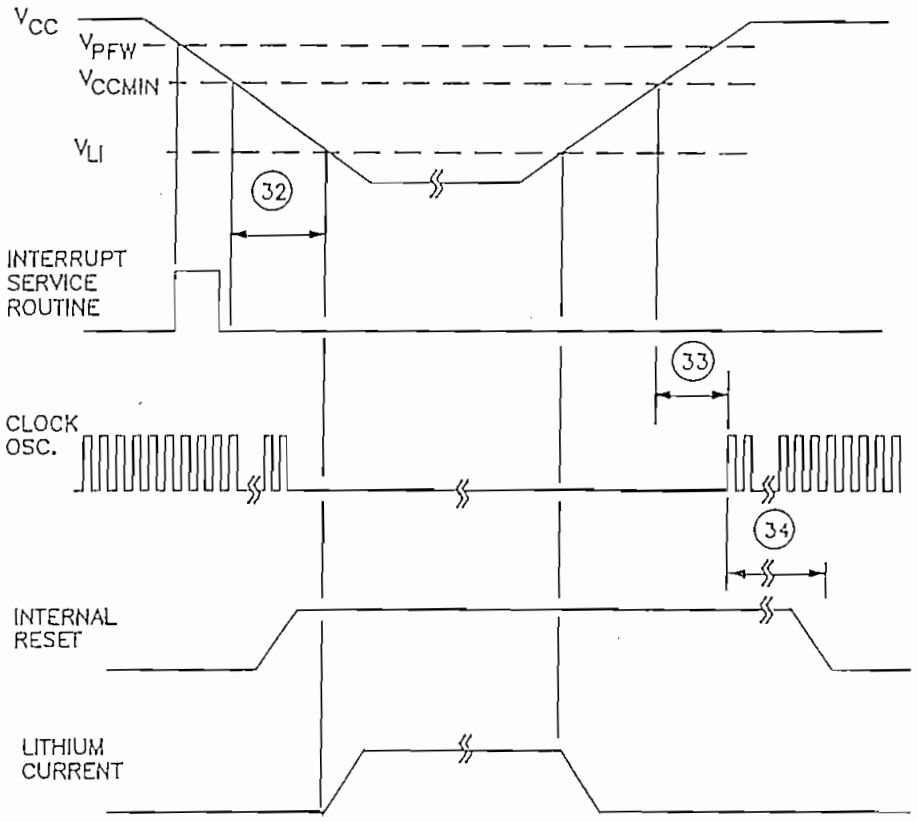
PARAMETER	SYM.	MIN.	TYP.	MAX.	UNITS	NOTES
Stop Mode Current	$I_{SM}$			90	$\mu A$	4
Power Fail Warning Voltage	$V_{PFW}$	4.15	4.6	4.75	V	
Minimum Operating Voltage	$V_{CCmin}$	4.05	4.5	4.65	V	
Lithium Supply Voltage	$V_{LI}$			3.3	V	
Programming Supply Voltage (Parallel Program Mode)	$V_{PP}$	12.5		13.0	V	
Program Supply Current	$I_{PP}$		9.2	15	mA	
Operating Current DS5000 8 DS5000 32	$I_{CC}$		20 25	43.2 48.2	mA	
Idle Mode Current	$I_{CC}$			6.2	mA	

A.C. CHARACTERISTICS  
POWER CYCLING TIMING

( $T_A = 0^\circ\text{C}$  to  $70^\circ\text{C}$ ;  $V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$ )

#	PARAMETER	SYMBOL	MIN.	MAX.	UNITS
32	Slew rate from $V_{CCmin}$ to $V_{Lmax}$	$t_F$	40		us
33	Crystal start up time	$t_{CSU}$	(note 5)		
34	Power On Reset Delay	$t_{POR}$	$2150 \cdot 4t_{CLK}$		us

POWER CYCLING TIMING DIAGRAM Figure 3



A.C.CHARACTERISTICS

( $T_A = 0^{\circ}\text{C}$  to  $70^{\circ}\text{C}$ ;  $V_{CC} = 5V \pm 10\%$ )

PARALLEL PROGRAM LOAD TIMING

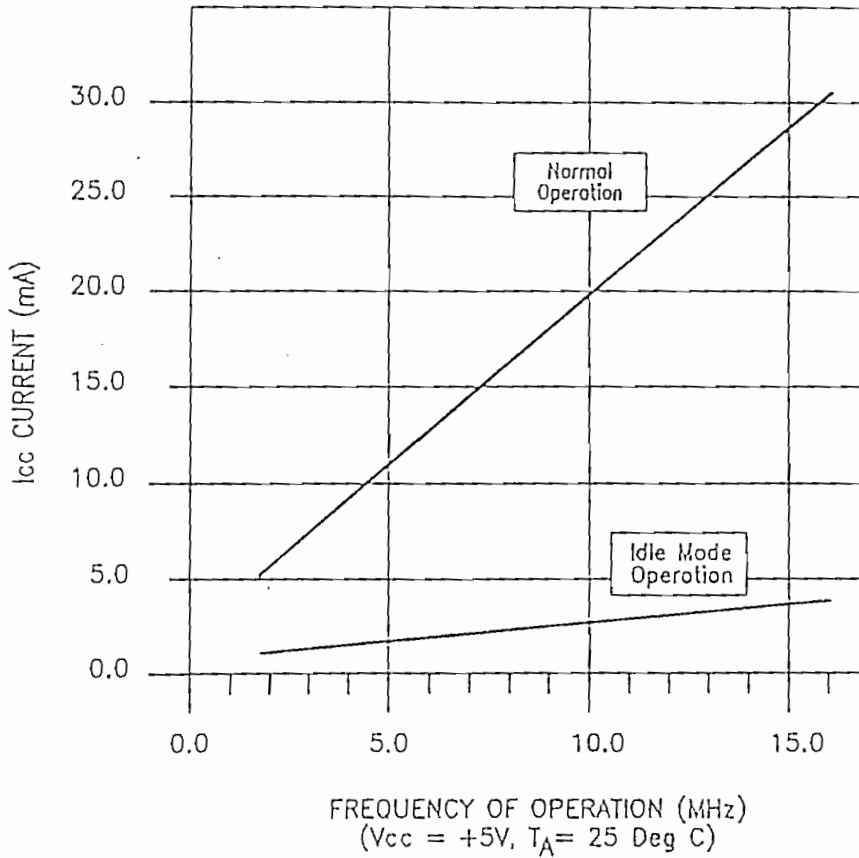
#	PARAMETER	SYMBOL	MIN.	MAX.	UNITS
40	Oscillator Frequency	$1/t_{CLK}$	1.0	12.0	MHz
41	Address Setup to PROG* low	$t_{AVPRL}$	0		$t_{CLK}$
42	Address Hold After PROG* high	$t_{PAHAY}$	0		$t_{CLK}$
43	Data Setup to PROG* low	$t_{DVPRL}$	0		$t_{CLK}$
44	Data Hold After PROG* low	$t_{PDHOL}$	0		$t_{CLK}$
45	P2.7, 2.6, 2.5 Setup to $V_{PP}$	$t_{PDHVP}$	0		$t_{CLK}$
46	$V_{PP}$ Setup to PROG* low	$t_{VDPRL}$	0		$t_{CLK}$
47	$V_{PP}$ Hold After PROG* low	$t_{PDHVL}$	0		$t_{CLK}$
48	PROG* Width low	$t_{PRW}$	2400		$t_{CLK}$
49	Data Output from Address Valid	$t_{AVOY}$		48 1800*	$t_{CLK}$ $t_{CLK}$
50	P2.7, 2.6 active to data valid	$t_{DVP2XA}$		48 1800*	$t_{CLK}$ $t_{CLK}$
51	Data Hold after P2.7, 2.6 inactive	$t_{P2XHDH}$	0	48 240*	$t_{CLK}$ $t_{CLK}$
52	Delay to Rese/PSEN* active after Power On	$t_{PORPY}$	26304		$t_{CLK}$
53	Rese/PSEN* active (or Verify inactive) to $V_{PP}$ high		1200		$t_{CLK}$

54	$V_{PP}$ inactive (between Program cycles)		1200		$t_{CLX}$
55	Verify active time	$t_{VFT}$	48 2400		$t_{CLX}$ $t_{CLX}$

\* Second set of numbers refer to expanded memory programming up to 32Kbytes.

4

DS5000 Icc VS FREQUENCY Figure 4



Normal operation is measured using

- 1) External crystals on XTAL1 and 2
- 2) All port pins disconnected
- 3) RST = 0 Volts and EA = VCC.
- 4) Part performing endless loop writing to internal memory.

Idle mode operation is measured using

- 1) External clock source at XTAL1; XTAL 2 floating
- 2) All port pins disconnected
- 3) RST = 0 Volts and EA = VCC
- 4) Part set in IDLE mode by software.

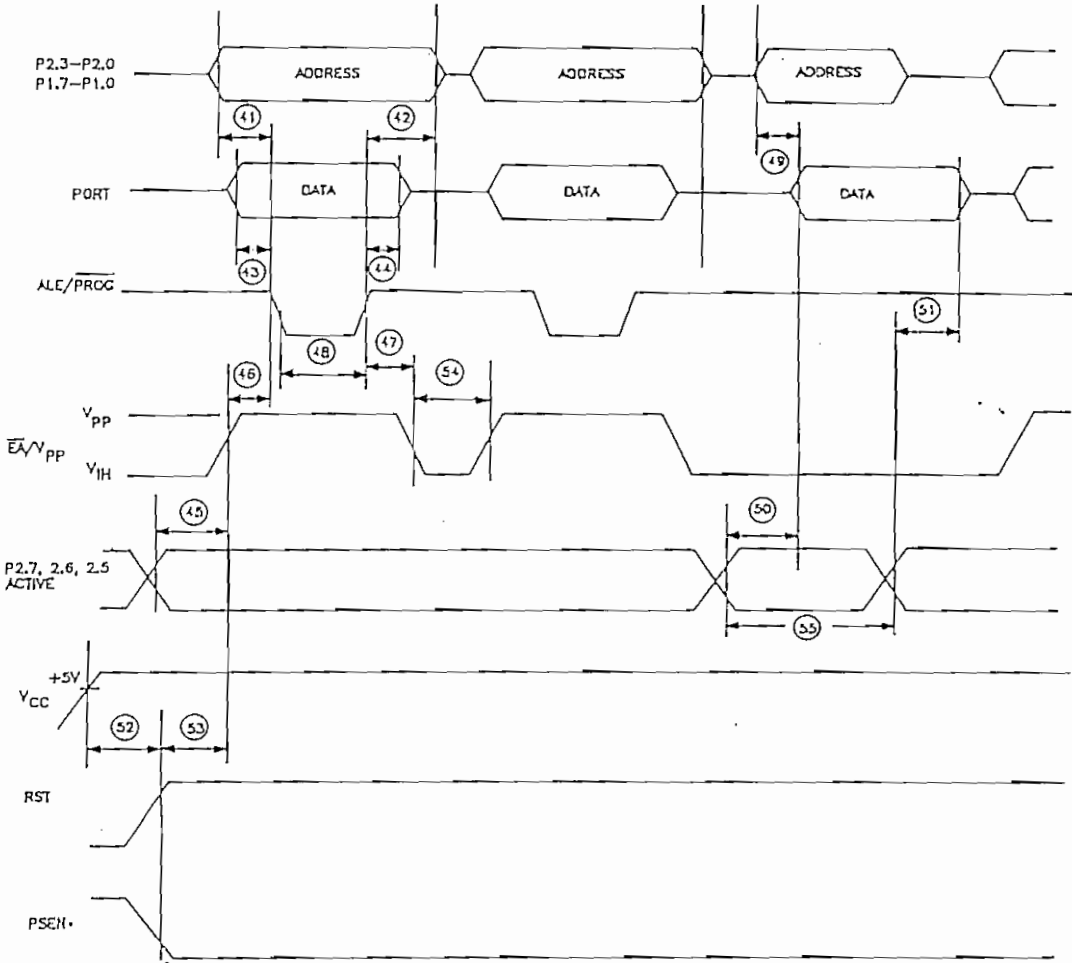


NOTES:

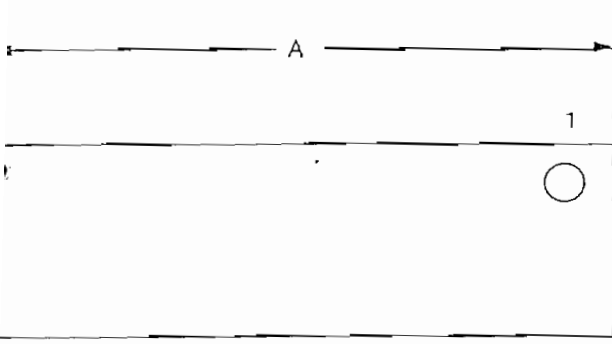
- All voltages are referenced to ground.
- Maximum operating  $I_{CC}$  is measured with all output pins disconnected; XTAL1 driven with  $t_{CLKR}, t_{CLKF} = 10 \text{ ns}$ ,  $V_{IL} = 0.5\text{V}$ ,  $V_{IH} = 4.5\text{V}$ ; XTAL2 disconnected;  $EA^* = RST = PORT0 = V_{CC}$ .
- Idle Mode  $I_{CC}$  is measured with all output pins disconnected; XTAL1 driven with  $t_{CLKR}, t_{CLKF} = 10 \text{ ns}$ ,  $V_{IL} = 0.5\text{V}$ ,  $V_{IH} = 4.5\text{V}$ ; XTAL2 disconnected;  $EA^* = RST = PORT0 = V_{CC}$ .
- Stop Mode  $I_{CC}$  is measured with all output pins disconnected;  $EA^* = PORT0 = V_{CC}$ ; XTAL2 not connected;  $RST = V_{SS}$ .
- Crystal start up time is the time required to get the mass of the crystal into vibrational motion from the time that power is first applied to the circuit until the first clock pulse is produced by the on-chip oscillator. The user should check with the crystal vendor for a worst case spec on this time.



PARALLEL PROGRAM LOAD TIMING Figure 5

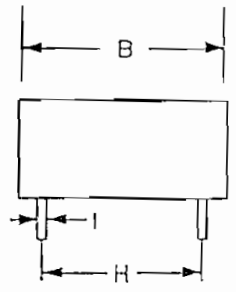
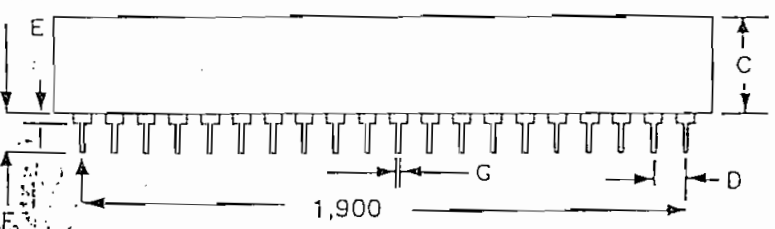


5000  
t Microcontroller



DIM.	INCHES	
	MIN.	MAX.
A	2.080	2.100
B	.680	.700
C	.290	.310
D	.090	.110
E	.040	.060
F	.165	.185
G	.016	.020
H	.590	.610
I	.009	.012

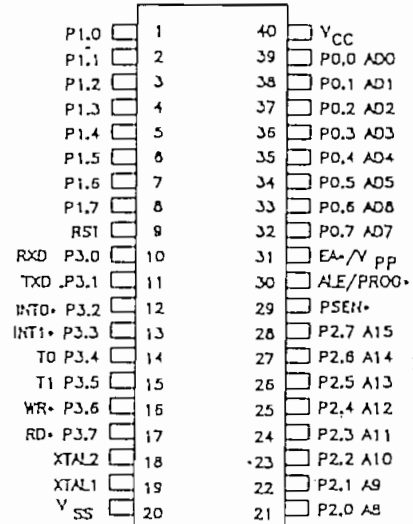
4



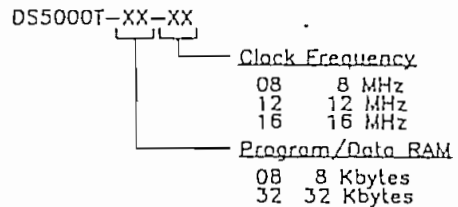
**FEATURES**

- DS5000 Soft Microcontroller with embedded clock/calendar
- Internal lithium cell preserves clock function in the absence of  $V_{CC}$
- Permits logging of events with time and date stamp
- 8 or 32 Kbytes of embedded nonvolatile program/data RAM
- Program loading via on-chip full-duplex serial port
- User-selectable program/data memory partition
- All 4 ports available for system control
- Resident encryptor protects program from piracy
- Power sequencer and watchdog timer help ensure crash-proof operation
- Compatible with industry standard 8051 instruction set and pinout
- Clock accuracy is better than 2 min/month @25 deg C

**PIN CONNECTIONS**



**ORDERING INFORMATION**



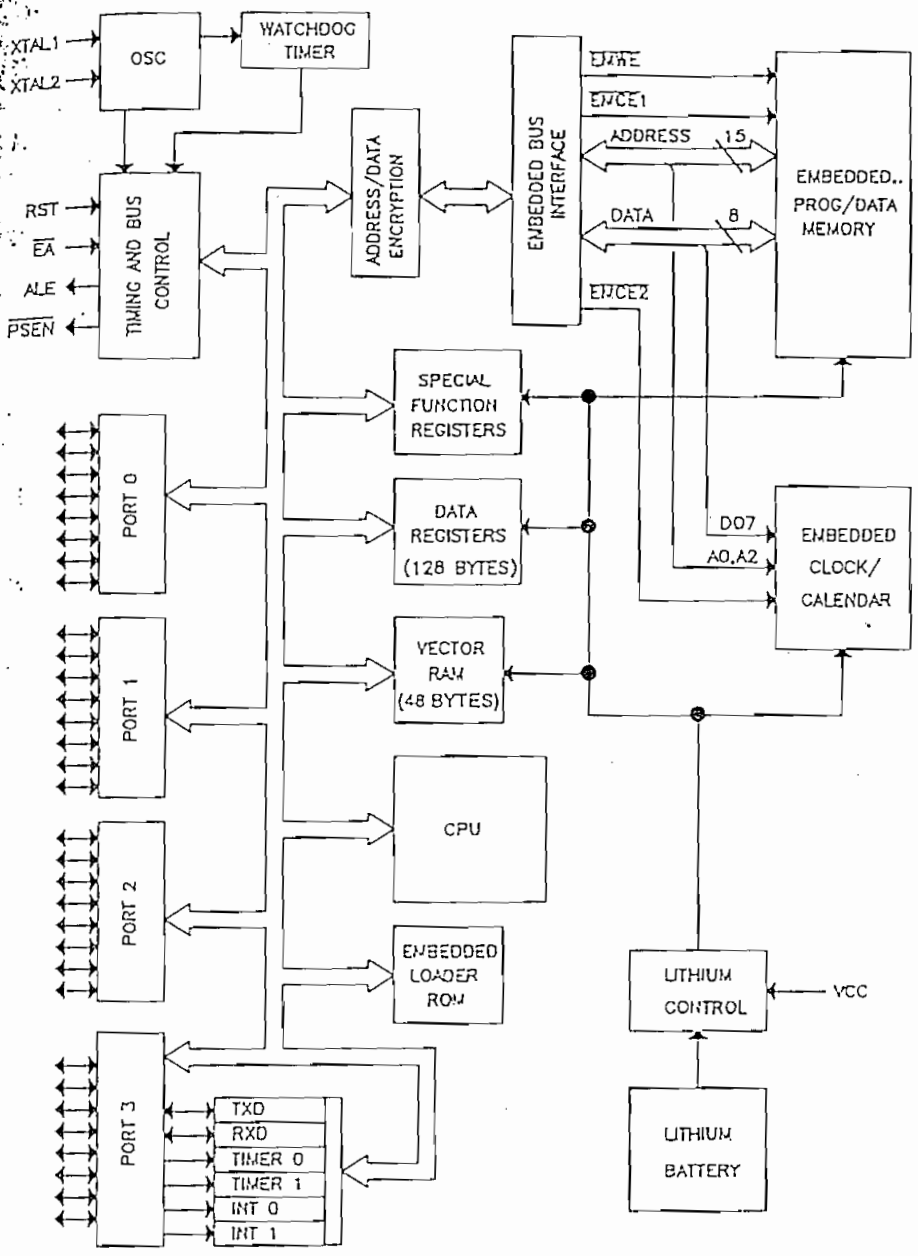
**DESCRIPTION**

The DS5000T Time Microcontroller offers all the features of the DS5000 with the added benefit of an embedded real-time clock/calendar function. The clock function itself is accessed as though it were a part of the embedded Data RAM so that the 32 I/O pins are free for the application use. With this feature, new and existing

microcontrolled systems can now log events, schedule activities and time operations. The combination of DS5000T's "soft" features together with a real-time clock/calendar provides a powerful controller that adapts to the needs of time-driven applications.

DS5000T TIME MICROCONTROLLER BLOCK DIAGRAM Figure 1

4



## ECC COMPARISON REGISTER DESCRIPTION Figure 2

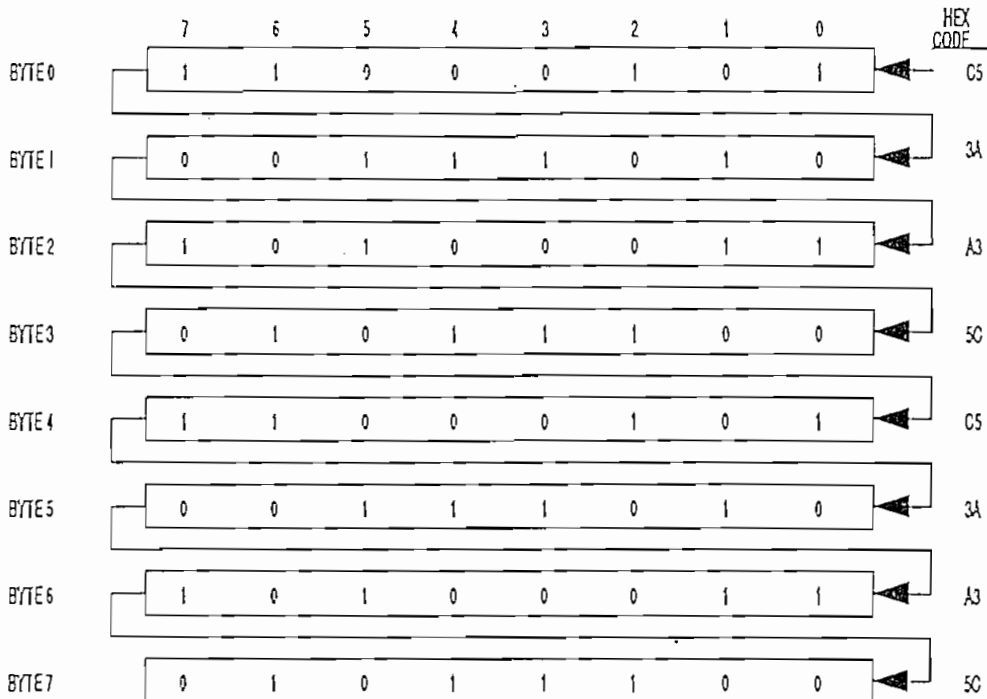


Figure 1 is the block diagram of the DS5000T, illustrating how the embedded program/data memory and the embedded clock/calendar (ECC) are connected to the CPU. The time parameters available are hundredths of seconds, seconds, minutes, hours, days, dates, months and years. Entry to the time function is identical to the serial communication method used by the DS1215 TimeChip. Basically, the time function appears as a slice of embedded data memory that is enabled by the ECE2 bit in the MCON special function register. This bit must be set to a logic 1 in order to select this new data

memory map so that the time function appears to the CPU as simply a read/write memory location.

Aside from the clock/calendar function the DS5000T operates just like the DS5000 Soft Microcontroller so that existing DS5000 code is upward compatible with the DS5000T. Features such as nonvolatile data/program memory, watchdog timer, power sequencer and software encryption are all preserved in the DS5000T. Please refer to the DS5000 data sheet and the User's Guide for full details on its operation.

## EMBEDDED CLOCK/CALENDAR OPERATION

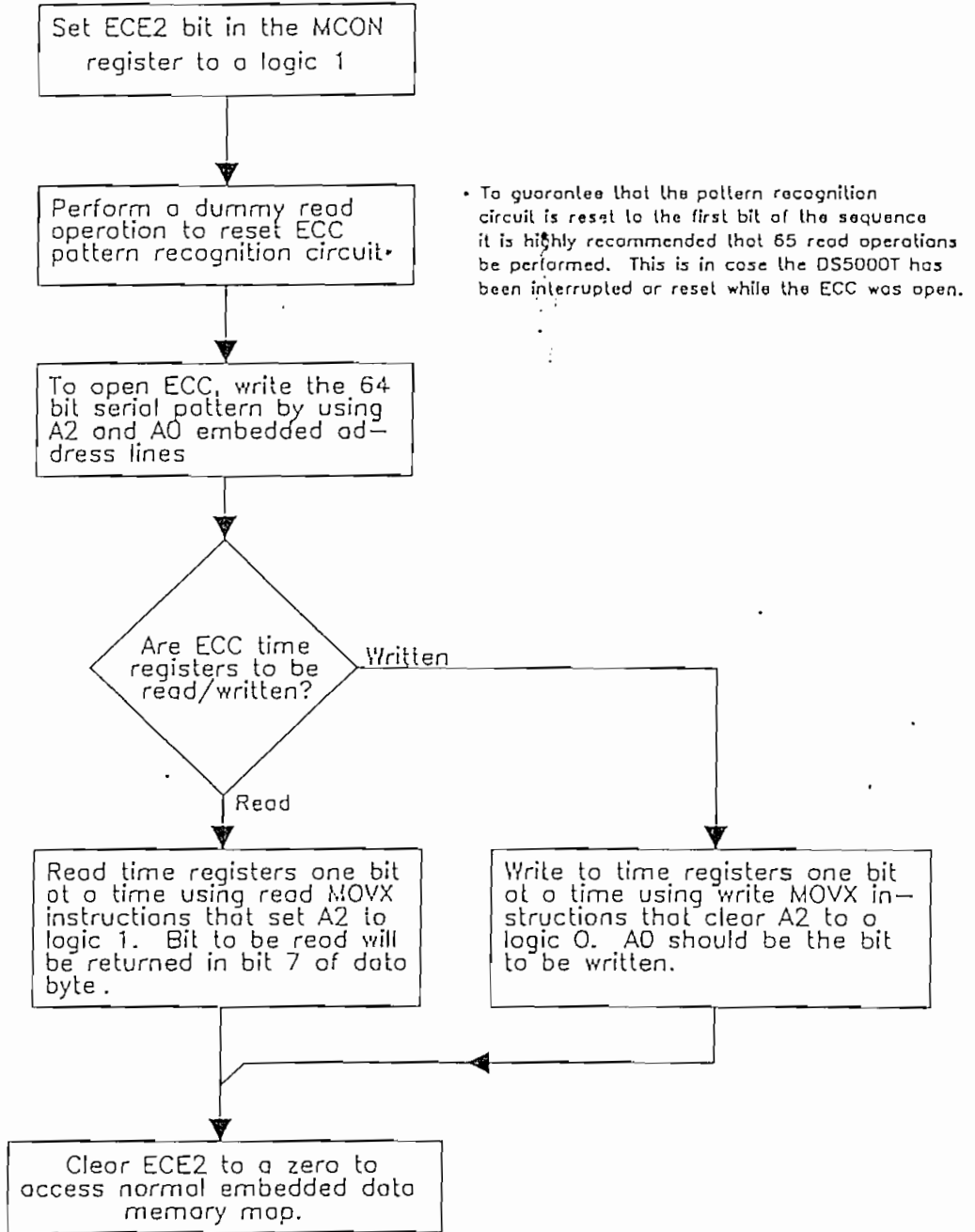
The embedded clock/calendar (ECC) operates much like the DS1215 TimeChip in that a 64 bit serial pattern must be written before time information can be read or written. The ECC has a pattern recognition circuit that checks incoming data to see that it matches the necessary sequence which is illustrated in Figure 2. After all 64 bits match, the ECC is ready allow the time registers to either be written or read. To reset the pattern recognition circuit so as to look for bit 1 of the sequence, a read cycle must be performed. Then the 64 bits of the recognition sequence must be written to the ECC. If any bit should mismatch, the pattern recognition circuit will halt its operation and only a read cycle will be able to reset this circuit.

Communication to the ECC involves the use of the memory map enabled by bit ECE2 in the MCON register. Once this bit is set to a 1, all embedded memory read/write operations are directed to the ECC address space instead of the normal 8/32 Kbytes of embedded program/data memory. Actual read/write operations use embedded address lines A0 and A2 of the ECE2 memory map. To write a data bit to ECC, a MOVX instruction that forces A2 low and A0 to the state of the bit must be performed. *All other address lines should be set to a logic 0.* Address line A2 can be thought of as the write enable to the ECC and A0 as the write bit. Therefore, to write the 64 bits of the pattern recognition sequence, 64 MOVX instructions must be executed.

To read a data bit from the ECC once the 64-bit pattern has been entered, a read MOVX instruction (MOVX A,@Ri or MOVX A,@DPTR) must be executed that sets A2 to a 1. The data bit desired will be then be returned in bit 7 of the accumulator. Therefore, to retrieve the 8 bytes of time information in the ECC, 64 read MOVX instructions must be executed.

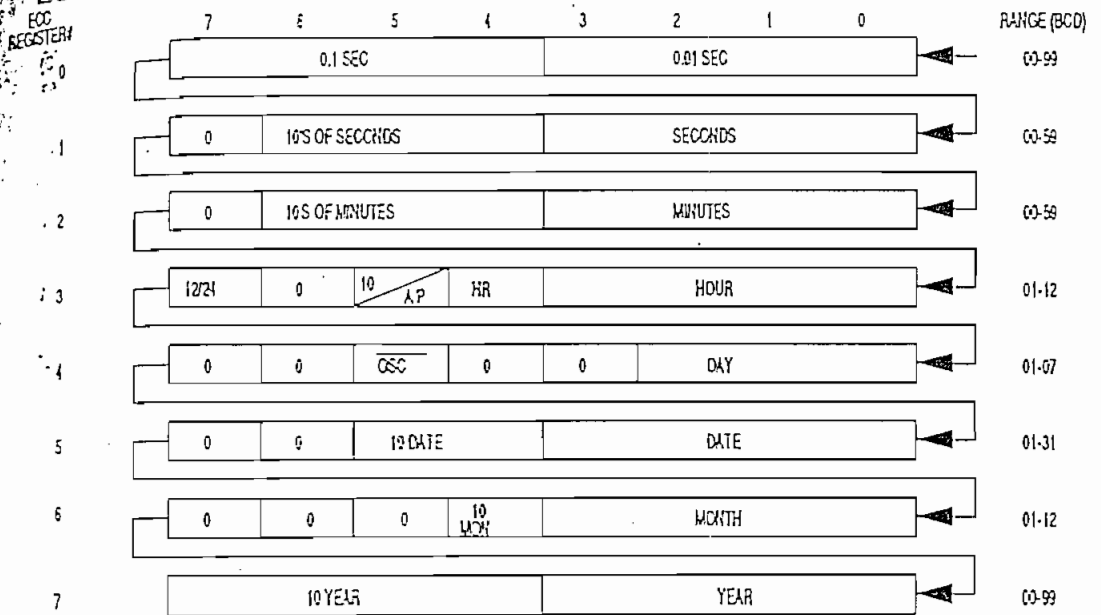
A flowchart is shown in Figure 3 which summarizes how to access the ECC for time retrieval and modification. Also, Appendix 1 lists a program called DEMODS5T which contains sample sub-routines for communicating with the ECC that can be downloaded into the DS5000T (via the DS5000K for example). When DEMODS5T is run, a dumb terminal can retrieve the time from the DS5000T through the serial port (RXD,TXD). Please contact the Marketing Department for any assistance.

ECC REGISTER ENTRY FLOWCHART Figure 3





ECC TIME REGISTERS DESCRIPTION Figure 4



**ECC REGISTERS**

The time information in the ECC is contained in eight registers that are each 8 bits long. After the 64 bit recognition pattern has been received, data in these registers is accessed one bit at a time which is shown conceptually in Figure 4. It is recommended that data written to or read from the ECC include all 64 bits of the 8 time registers.

Register data is always in the BCD format except for the hours register (Reg 3) whose format changes depending upon the state of bit 7. If bit 7 is a one, the 12 hour mode is selected and bit 5 of the hours register becomes an AM/PM indicator; PM is indicated by a logic 1 while AM is a logic zero. If bit 7 is a zero, the 24 hour mode is selected and bit 5 becomes the second 10 hour bit (20-23 hours). Figure 5

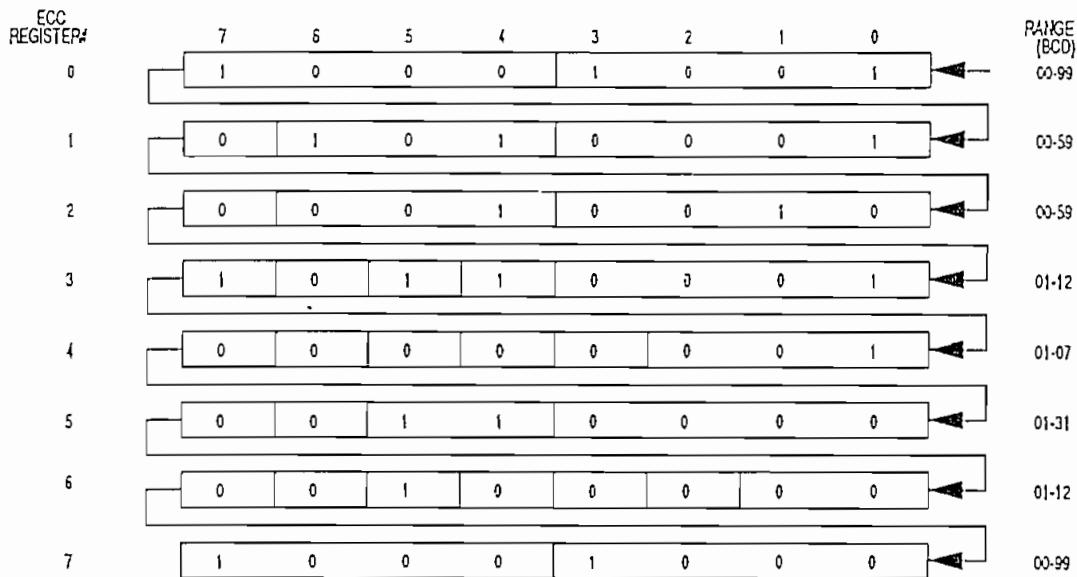
contains examples that illustrate the content of these registers for different modes and times.

**ECC SPECIAL BITS**

Bit 5 of the days register (REG 4) is the control bit for the ECC micro-power oscillator and it operates similarly to that in the DS1215. Clearing bit 5 to a logic 0 enables the oscillator for normal operation; setting bit 5 to a logic 1 disables the oscillator and halts the ECC timekeeping. It is recommended that bit 5 always be cleared to 0.

Bit 4 of the days register does not affect ECC operation and can be set to any state. Register locations shown as logic 0's in Figure 6 will always return a 0 when being read. Write operations to these bit locations are ignored by the ECC and have no effect on its operation.

# ECC TIME REGISTER EXAMPLES Figure 5

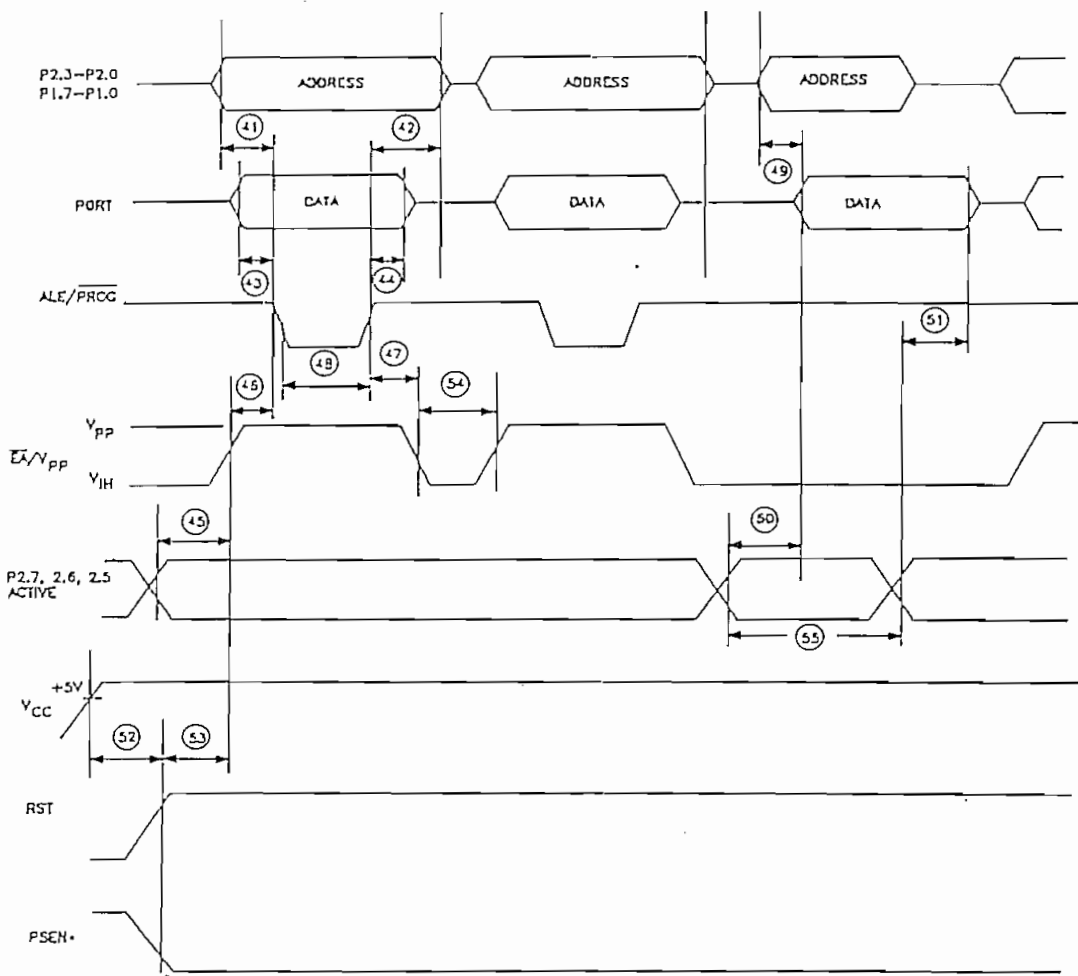


The time indicated is 11 o'clock PM, 12 minutes, 51.89 seconds.  
 The date indicated is Sunday, October 30th, 1953.



The time indicated is 2300 hour, 59 minutes, 51.89 seconds.  
 The date indicated is Monday, November 22th, 1953.

PARALLEL PROGRAM LOAD TIMING Figure 5





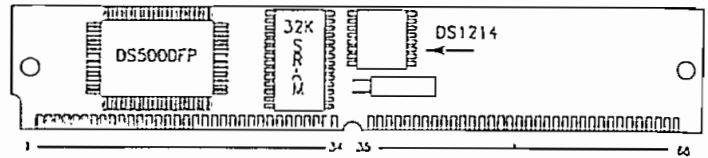
DALLAS SEMICONDUCTOR  
 Micro SipStik™ with Embedded Bus  
 Time Micro SipStik™ with Embedded Bus

PRELIMINARY  
 DS2259  
 DS2259T

FEATURES

- Sipstik version of DS5000 or DS5000T
- Provides access to Embedded Address/Data Bus
- Frees up port pins for I/O use
- Direct interface to byte wide memories
- Supplied with 8K or 32 KBytes of NVSRAM for Program/Data
- 15 address lines - addresses up to 32K bytes externally
- Compatible with DS2250
- DS2259T: Permanently powered clock/calendar
- 64-position SIMM connection scheme

PACKAGE OUTLINE



ORDERING INFORMATION

DS2259 XX-XX MICRO SIPSTIK  
 DS2259T XX-XX TIME MICRO SIPSTIK

Speed Grade	
8	8 MHz
12	12 MHz
16	16 MHz
Program/Data RAM	
8	8 Kbytes
32	32 Kbytes

DESCRIPTION

The DS2259 and DS2259T are the functional equivalents of the DS2250 and DS2250T, respectively, with the additional feature that the both devices are supplied with the Embedded Address/Data bus available for interface to external devices. The Embedded Bus is non-multiplexed and includes 15 address and 8 data lines, as well as chip enable and read/write

control signals. In addition, all of the 40 pins of the DS2250 and the DS2250T are available. As a result, all of the 8051 compatible I/O ports are available for I/O. The DS2259(T) plug into the SIMM connector scheme which supports redundant contacts, simple insertion/extraction, and low overall height profiles.



DALLAS SEMICONDUCTOR  
**Micro SipStik™**  
 Time Micro SipStik

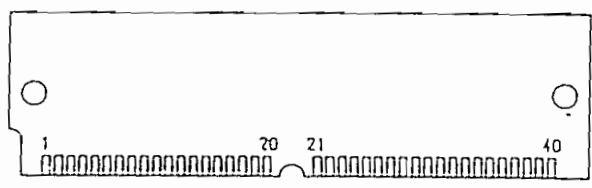
DS2250  
 DS2250T

LITHIUM BATTERY

FEATURES

- Nonvolatile SRAM for program and/or data
- Capable of modifying its own program and/or data memory
- Program downloading via an on-chip full duplex serial port
- Adjustable partition between program and data memory
- Completely crash-proof: program/data RAM and all data registers are maintained in absence of power
- All 32 port pins available for I/O
- Automatic restart on detection of errant software execution
- Orderly shutdown and automatic restart on power up/down
- Program and data memory secure, with a tamper proof on-chip encryptor
- Compatible with industry standard 8051 instruction set
- DS2250T: Permanently powered clock/calendar
- 40-position SIMM connection scheme

PACKAGE OUTLINE



ORDERING INFORMATION

DS2250 XX-XX MICRO SIPSTIK  
 DS2250T XX-XX TIME MICRO SIPSTIK

Speed Grade	
8	8 MHz
12	12 MHz
16	16 MHz

Program/Data RAM	
8	8 Kbytes
16	16 Kbytes
32	32 Kbytes
64	64 Kbytes

DESCRIPTION

The DS2250 Microcontroller SipStik stays up-to-date because it was designed for change. Unlike rigid ROM or EPROM based microcontrollers, all of the Microcontroller SipStik's memory is high performance, read/write, and

nonvolatile for more than ten years. The DS2250 is equipped with nonvolatile SRAM which can be dynamically partitioned to fit program and data storage requirements of a particular task. As a result of sophisticated crashproofing circuitry, processing of a task can resume after a power

outage. A built-in encryptor prevents unauthorized access to resident application software. The DS2250T Time Micro SipStik incorporates all of the features of the DS2250 along with the addition of a built-in real-time clock/calendar function.

The DS2250 and DS2250T are the functional equivalents of the DS5000 and DS5000T, respectively, with the exception that both devices

are available with additional memory size variations, including 16K bytes and 64 Kbytes of nonvolatile memory. The pinout and instruction set of both products match the industry standard 8051 microcontroller. The DS2250 and DS2250T each plug into the SIMM connector scheme which supports redundant contacts, simple insertion/extraction, and low overall height profiles.

#### PIN ASSIGNMENTS

The following table summarizes the pin assignments for the DS2250:

1	P1.0	2	V <sub>CC</sub>
3	P1.1	4	P0.0 (AD0)
5	P1.2	6	P0.1 (AD1)
7	P1.3	8	P0.2 (AD2)
9	P1.4	10	P0.3 (AD3)
11	P1.5	12	P0.4 (AD4)
13	P1.6	14	P0.5 (AD5)
15	P1.7	16	P0.6 (AD6)
17	RST	18	P0.7 (AD7)
19	P3.0 (RXD)	20	EA* (V <sub>pp</sub> )
21	P3.1 (TXD)	22	ALE (PROG*)
23	P3.2 (INT0*)	24	PSEN*
25	P3.3 (INT1*)	26	P2.7 (A15)
27	P3.4 (T0)	28	P2.6 (A14)
29	P3.5 (T1)	30	P2.5 (A13)
31	P3.6 (WR*)	32	P2.4 (A12)
33	P3.7 (RD*)	34	P2.3 (A11)
35	XTAL2	36	P2.2 (A10)
37	XTAL1	38	P2.1 (A9)
39	GND	40	P2.0 (A8)

#### 16K AND 64K VERSION MEMORY ORGANIZATION

The DS2250(T) 16-XX device incorporates a total of 16K bytes of embedded nonvolatile RAM for program/data storage. Similarly, the DS2250(T) 64-XX incorporates a total of 64K bytes for program/data storage. The following is a description of how this memory may be utilized by the designer. This discussion assumes that the reader is familiar with the programming model of the DS5000, which is described in detail in Section 4 of the DS5000 User's Guide.

The memory on the DS2250(T) 16-XX and DS2250(T) 64-XX is organized as two separately accessed 8K byte memory devices and two separately accessed 32K byte memory devices, respectively. Each of the devices are enabled by one of the two separate chip enable signals from the microcontroller die: CE1\* and CE2\*. These chip enable signals operate under the control of the application software via the ECE2 bit in the MCON Special Function register. For the DS2250(T) 16-XX, a maximum of 8K bytes of Program and/or Data Memory under the

of CE1\* is available, with 8K bytes Data Memory under the control of the CE2\* map. For DS2250(T) 64-XX, 32K bytes of Program Memory is under the control of CE1\* and 8K bytes of Data Memory is under the control of CE2\*.

Figure 1 illustrates the mapping within the embedded RAM which results when the ECE2 bit is set to 0. In this case, only the Program Memory RAM which is under the control of the CE1\* is accessible and it is mapped in an unusual fashion to a 8 or 32K byte version of a Partition Address. The Partition Address and the Range Address (as defined in the MCON register) define the mapping of Program and Data Memory space within the CE1\* controlled embedded RAM area. Any program memory access

from location 0000H up to (but not including) the Partition Address location will be mapped to the corresponding locations within the embedded Program/Data RAM. Program accesses at or above the Partition and/or Range addresses will be executed via the Expanded Address/Data bus in place of Ports 0 and 2, as long as the Security Lock bit is cleared to 0. If the Security Lock bit is set to a 1, then no external Program Memory accesses are possible. Any data memory access (using a MOVX instruction) from the Partition Address location up to (but not including) the Range address location will be mapped to the corresponding locations within the embedded Program/Data RAM. Any Data Memory access outside of the area between these two addresses will be executed on the Expanded Bus.

FIGURE 1: 16K or 64K VERSION PROGRAM/DATA MEMORY: ECE2=0

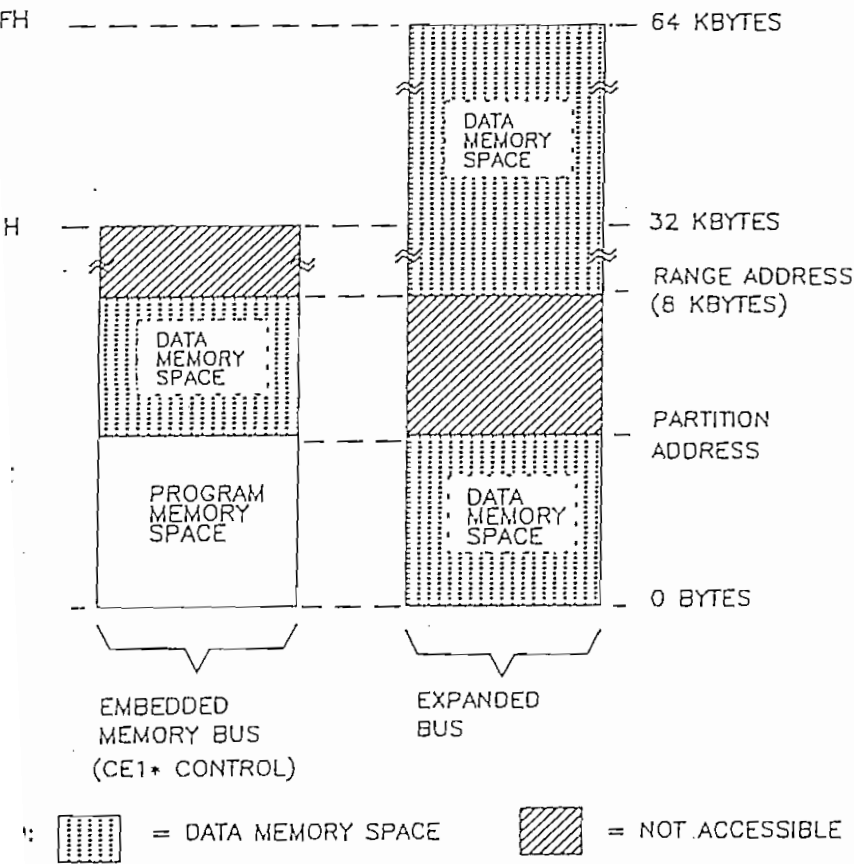
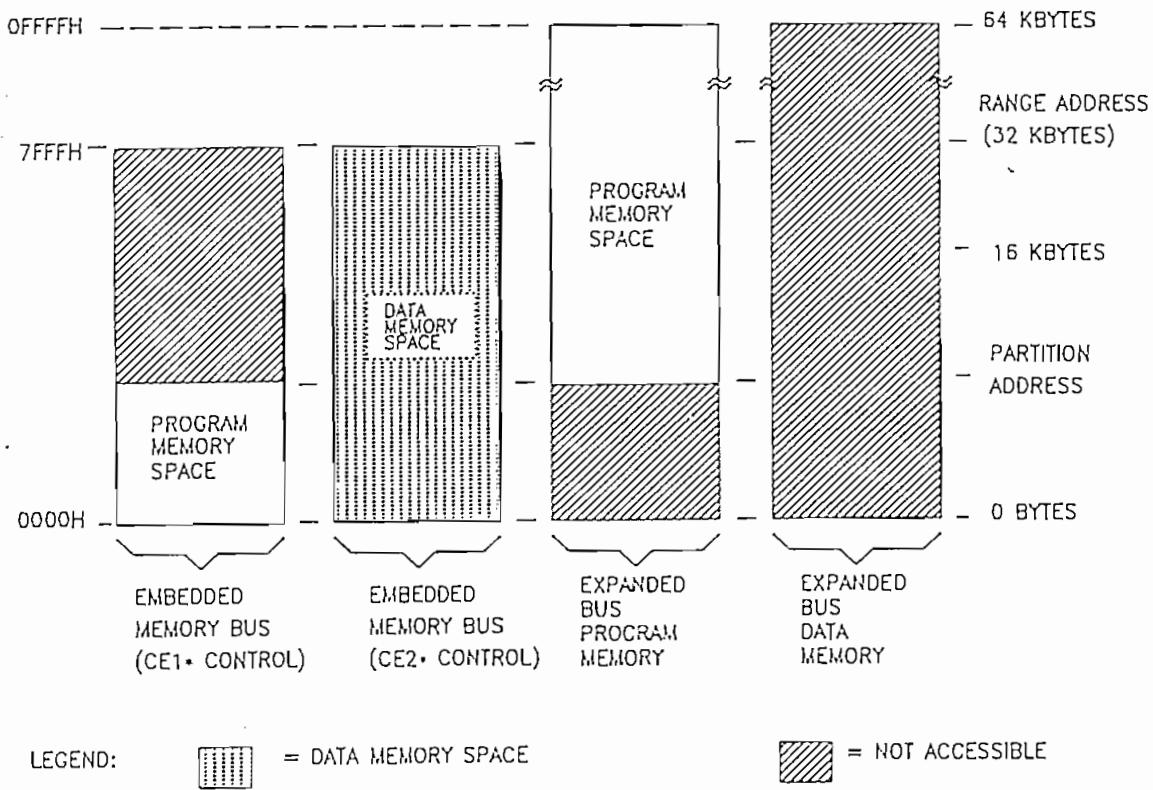


Figure 2 illustrates the mapping of Program and Data Memory within the DS2250(T) 16-XX or DS2250(T) 64-XX when the ECE2 bit is set to 1. When ECE2 is set to 1 by the application software, Program Memory accesses to the embedded RAM will still cause only CE1\* to be acti-

vated. However, any Data Memory access by a MOVX instruction to the embedded RAM will cause CE2\* to be activated instead of CE1\*. As a result, the memory device under the control of the CE2\* signal can only be used for data memory accesses.

FIGURE 2: 64K PROGRAM/DATA MEMORY: ECE2=1

(Paste Figure 2 from 2250(T).PIC)





#### DS2250T CLOCK/CALENDAR

The DS2250T incorporates a permanently powered Embedded Clock/Calendar (ECC) that is identical in function to the DS1215 Timekeeper. The real-time clock is memory-mapped on the internal Embedded RAM address/data bus. As a result, it may be accessed by software as if it were Embedded Data RAM using the "MOVX" set of instructions. Accesses to the ECC take place with no effect on I/O port pins. Detailed operation of the ECC may be found in the DS5000T data sheet.

For the DS2250T 16-XX and DS2250T 64-XX versions, both the ECC and the second memory device are accessed via the CE2\* control line from the microcontroller. The CE2\* signal is routed through the ECC so that the CE\* signal on the second memory device is conditioned by control logic within the ECC itself. Access to the second memory device by the application software can proceed as normal until communication with the ECC is desired. The application software may then select the ECC by performing the 64-bit pattern recognition CE2\* read cycle sequence. Reads and writes can then proceed as described for the DS5000T.

TABLE 1: DS2250 COMPATIBLE CONNECTORS

SOCKET TYPE	PLATING	AMP	DALLAS
.050" Centerline	Tin	821918-1 or	DS9072-V
Vertical Single Row		821918-2	

#### SELECTED ELECTRICAL CHARACTERISTICS

The following are selected electrical operating characteristics of the DS2250 and the DS2250T. A partial set of DC and AC operating characteristics which are applicable to the DS2250 and DS2250T are given in the DS5000 and DS5000T data sheets in the Dallas Semiconductor Data Book. A full set of electrical characteristics which are applicable to the DS2250 and DS2250T are available in the DS5000 User's Guide.

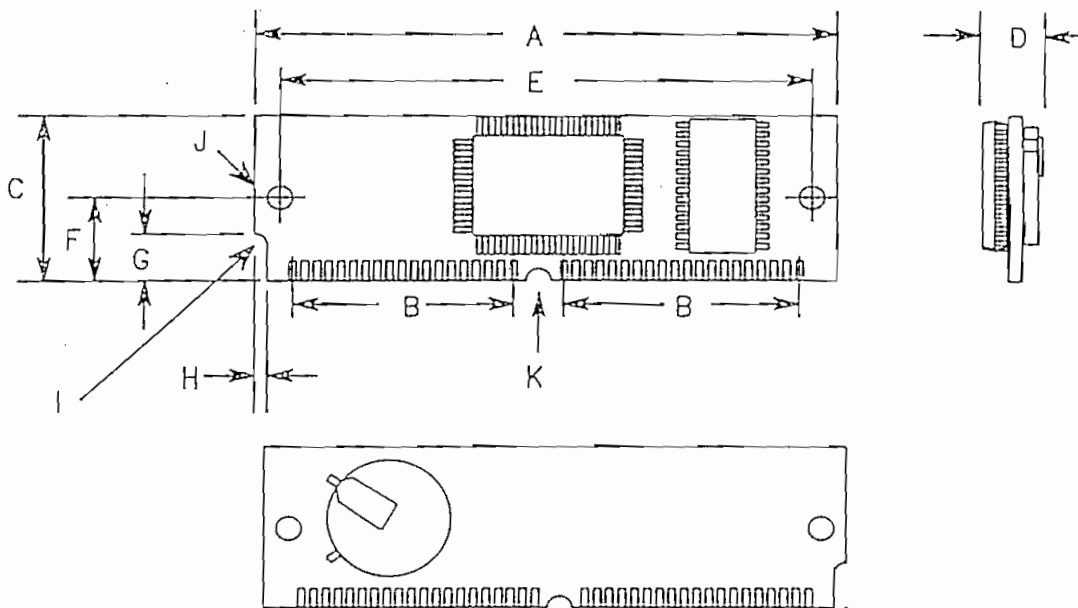
#### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS \*

Voltage on any pin relative to ground	-0.3 to 7.0V
Operating Temperature	0° to +70° C
Storage Temperature	-40° C to +70° C
Soldering Temperature on the leads	260° C for 10 sec.

This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions outside of those indicated in the operation sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods of time may affect reliability.

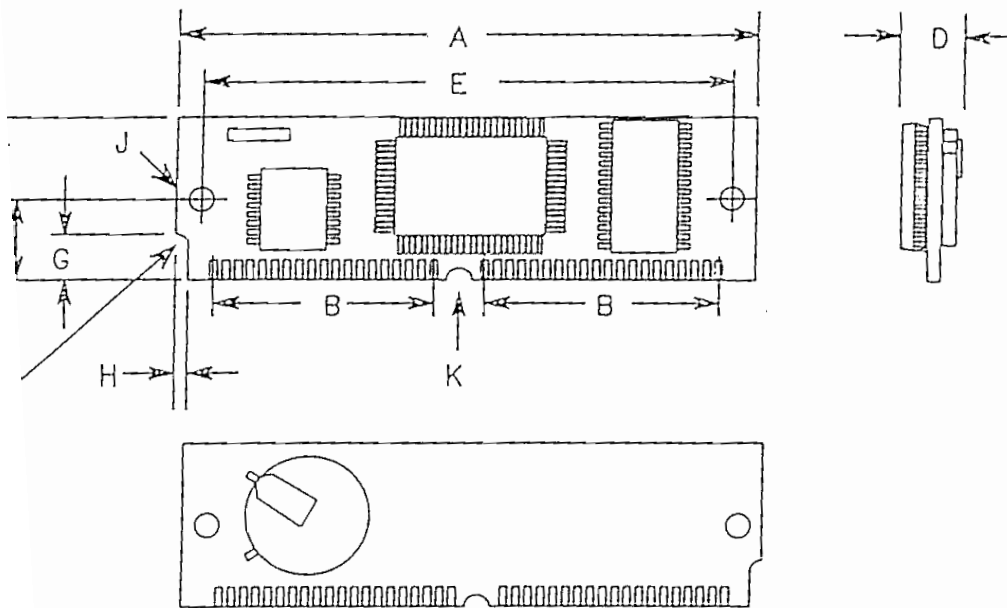
DS2250  
Micro Sipstik

DIM.	INCHES
A	2.650
B	0.950
C	0.840
D	0.350
E	2.384
F	0.400
G	0.250
H	0.080
I	R .062
J	D 0.125



DS2250T  
 16-Bit Micro Sipstik

DIM.	INCHES
A	2.650
B	0.950
C	0.840
D	0.350
E	2.384
F	0.400
G	0.250
H	0.080
I	R .062
J	D 0.125



# LM108A/LM208A/LM308A, LM308A-1, LM308A-2

## Operational Amplifiers

### General Description

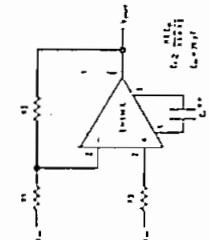
The LM108/LM108A series are precision operational amplifiers having specifications about a factor of ten better than FET amplifiers over their operating temperature range. In addition to low input currents, these devices have extremely low offset voltage, making it possible to eliminate offset adjustments, in most cases, and obtain performance approaching chopper stabilized amplifiers.

The devices operate with supply voltages from  $\pm 2V$  to  $\pm 18V$  and have sufficient supply rejection to use unregulated supplies. Although the circuit is interchangeable with and uses the same compensation as the LM101A, an alternate compensation scheme can be used to make it particularly insensitive to power supply noise and to make supply bypass capacitors unnecessary. Outstanding characteristics include:

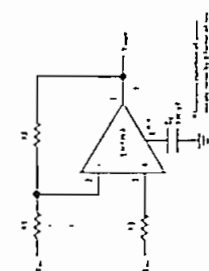
- Offset voltage guaranteed less than 0.5 mV
- Maximum input bias current of 3.0 nA over temperature

### Compensation Circuits

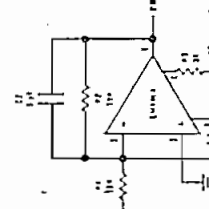
#### Standard Compensation Circuit



#### Alternate Frequency Compensation

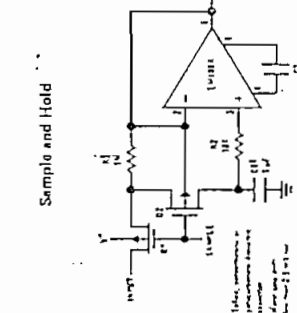


#### Feedforward Compensation

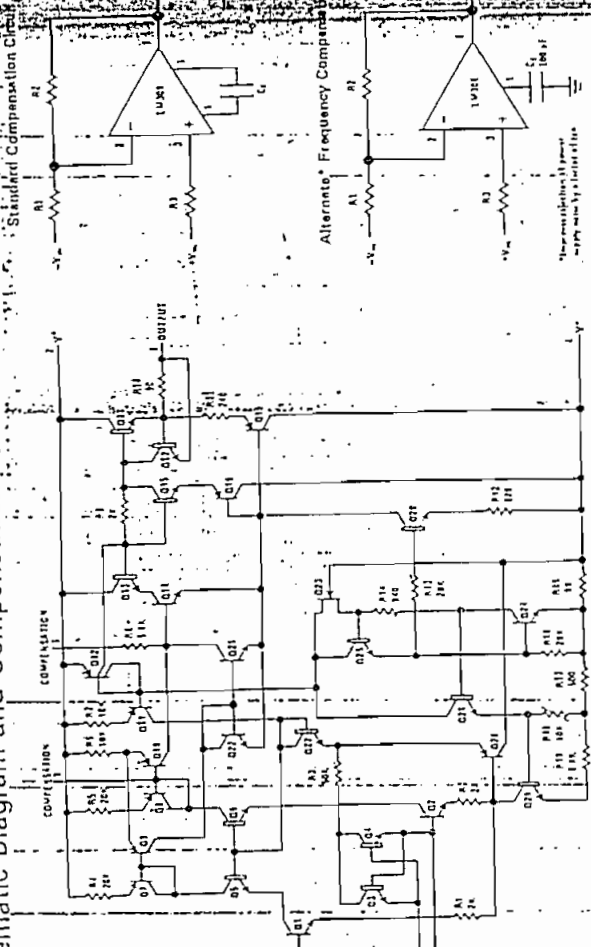
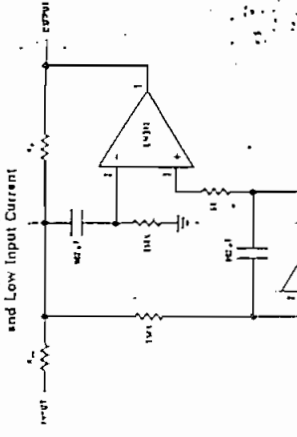


### Typical Applications

#### Sample and Hold

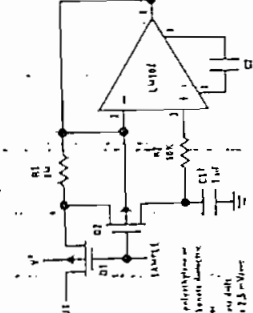


#### High Speed Amplifier with Low Drift and Low Input Current

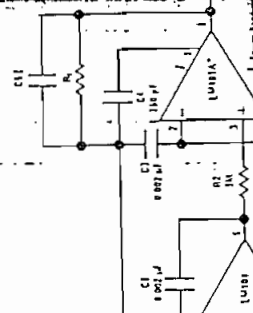


### Typical Applications (Continued)

#### Sample and Hold

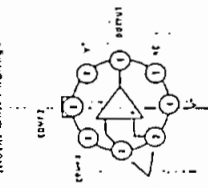


#### Fast Summing Amplifier

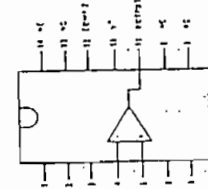


### Connection Diagrams

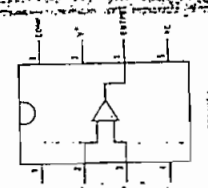
#### 8-Pin Can Package



#### Dual-In-Line Package



#### Dual-In-Line Package



Order Number LM108H

Order Number LM108J, LM208J-8 or LM308J-8

Order Number LM108J-8, LM208J-8 or LM308J-8

## LM108A/LM208A

## Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage	±20V
Power Dissipation (Note 1)	500 mW
Differential Input Current (Note 2)	±10 mA
Input Voltage (Note 3)	±15V
Output Short-Circuit Duration	Indefinite
Operating Temperature Range	-55°C to 125°C
Storage Temperature Range	-25°C to 85°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec)	-65°C to 150°C
	300°C

LM108A

LM208A

## Electrical Characteristics (Note 4)

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Input Offset Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$		0.3	0.5	mV
Input Offset Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		0.05	0.7	nA
Input Bias Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$	30	0.8	2.0	nA
Input Resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}$		70		k $\Omega$
Supply Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		0.3	0.6	nA
Large Signal Voltage Gain	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 15\text{V}$ $V_{OUT} = \pm 10\text{V}, R_L \geq 10\text{ k}\Omega$	80	300	1.0	V/mV
Input Offset Voltage					mV
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage			1.0	5.0	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Current				0.4	nA
Average Temperature Coefficient of Input Offset Current			0.5	2.5	$\text{pA}/^\circ\text{C}$
Input Bias Current				3.0	nA
Supply Current	$T_A = \pm 125^\circ\text{C}$		0.15	0.4	nA
Large Signal Voltage Gain	$V_S = \pm 15\text{V}, V_{OUT} = \pm 10\text{V}$ $R_L \geq 10\text{ k}\Omega$	40	±14		V/mV
Output Voltage Swing	$V_S = \pm 15\text{V}, R_L = 10\text{ k}\Omega$	±13			V
Input Voltage Range	$V_S = \pm 15\text{V}$	±13.5			V
Common-Mode Rejection Ratio		96	110		dB
Supply Voltage Rejection Ratio		96	110		dB

Note 1: The maximum junction temperature of the LM108A is 150°C, while that of the LM208A is 100°C. For operating at elevated temperatures, devices in the TO-5 package must be derated based on a thermal resistance of 150°C/W, junction to ambient, or 45°C/W, junction to case. The thermal resistance of the dual-in-line package is 100°C/W, junction to ambient.

Note 2: The inputs are shunted with back-to-back diodes for overvoltage protection. Therefore, excessive current will flow if a differential input voltage in excess of 1V is applied between the inputs unless some resistance is used.

Note 3: For supply voltages less than ±15V, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

## LM308A, LM308A-1, LM308A-2

## Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage	±18V
Power Dissipation (Note 1)	500 mW
Differential Input Current (Note 2)	±10 mA
Input Voltage (Note 3)	±15V
Output Short-Circuit Duration	Indefinite
Operating Temperature Range	0°C to 70°C
Storage Temperature Range	-65°C to 150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec)	300°C

## Electrical Characteristics (Note 4)

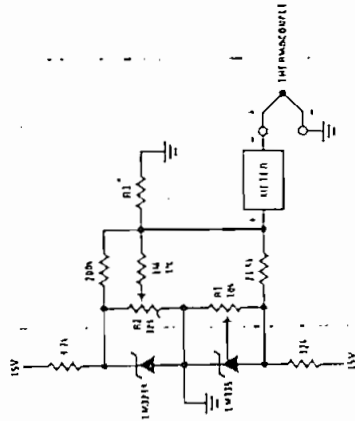
PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Input Offset Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$		0.3	0.5	mV
Input Offset Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		0.2	1	nA
Input Bias Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		1.5	7	nA
Input Resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}$	10	40		k $\Omega$
Supply Current	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 15\text{V}$		0.3	0.8	nA
Large Signal Voltage Gain	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 15\text{V}$ $V_{OUT} = \pm 10\text{V}, R_L = 10\text{ k}\Omega$	80	300		V/mV
Input Offset Voltage					mV
LM308A				0.73	mV
LM308A-1				0.54	mV
LM308A-2				0.50	mV
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage	$V_S = \pm 15\text{V}, R_S = 100\Omega$				$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
LM308A			2.0	5.0	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
LM308A-1			0.6	1.0	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
LM308A-2			1.3	2.0	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Current					nA
Average Temperature Coefficient of Input Offset Current			2.0	10	$\text{pA}/^\circ\text{C}$
LM308A					nA
LM308A-1					nA
LM308A-2					nA
Input Bias Current					nA
Large Signal Voltage Gain	$V_S = \pm 15\text{V}, V_{OUT} = \pm 10\text{V}$ $R_L \geq 10\text{ k}\Omega$	60			V/mV
Output Voltage Swing	$V_S = \pm 15\text{V}, R_L = 10\text{ k}\Omega$	±13	±14		V
Input Voltage Range	$V_S = \pm 15\text{V}$	±14			V
Common-Mode Rejection Ratio		96	110		dB
Supply Voltage Rejection Ratio		96	110		dB

Note 1: The maximum junction temperature of the LM308A, LM308A-1 and LM308A-2 is 85°C. For operating at elevated temperatures, devices in the TO-5 package must be derated based on a thermal resistance of 150°C/W, junction to ambient, or 45°C/W, junction to case. The thermal resistance of the dual-in-line package is 100°C/W, junction to ambient.

Note 2: The inputs are shunted with back-to-back diodes for overvoltage protection.

Thermocouple Cold Junction Compensation

Compensation for Grounded Thermocouple



Select R3 for proper thermocouple type

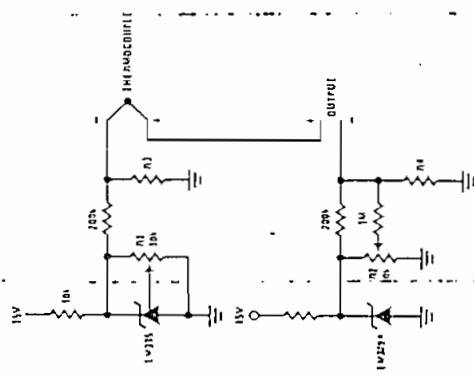
Thermocouple	R3	Seebeck Coefficient
J	377Ω	52.3 μV/°C
T	308Ω	42.8 μV/°C
K	293Ω	40.8 μV/°C
S	45.8Ω	5.4 μV/°C

Adjustments: Compensates for both sensor and resistor tolerances

- Short LM335
- Adjust R1 for Seebeck Coefficient times ambient temperature in degrees K across R3
- Short LM335 and adjust R2 for voltage across R3 corresponding to thermocouple type

J 14.32 mV    K 11.17 mV  
T 11.79 mV    S 1.768 mV

Single Power Supply Cold Junction Compensation



Select R3 and R4 for thermocouple type

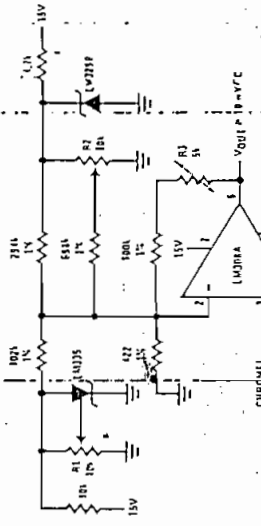
Thermocouple	R3	R4	Seebeck Coefficient
J	105K	385Ω	52.3 μV/°C
T	856Ω	315Ω	42.8 μV/°C
K	816Ω	300Ω	40.8 μV/°C
S	178Ω	46.3Ω	5.4 μV/°C

Adjustments:

- Adjust R1 for the voltage across R3 equal to the Seebeck Coefficient times ambient temperature in degrees Kelvin.
- Adjust R2 for voltage across R4 corresponding to thermocouple

J 14.32 mV    K 11.17 mV  
T 11.79 mV    S 1.768 mV

Centigrade Calibrated Thermocouple Thermometer

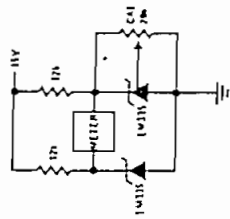


Terminate thermocouple reference junction in close proximity to LM335.

Adjustments:

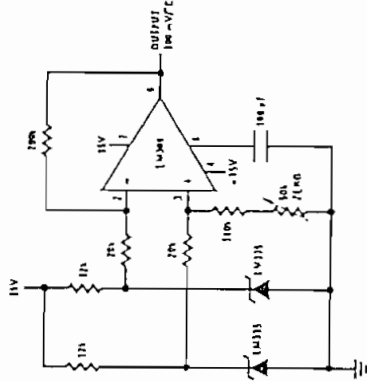
- Apply signal in place of thermocouple and adjust R3 for a gain of 245.7.
- Short non-inverting input of LM308A and output of LM329B to ground.
- Adjust R1 so that VOUT = 2.982V @ 25°C.

Differential Temperature Sensor

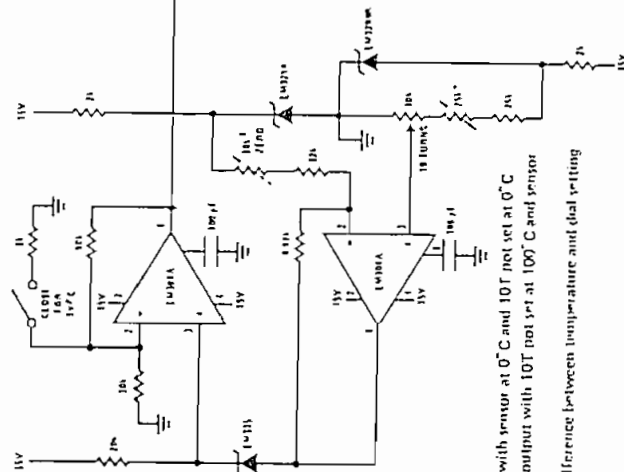


Adjust D1 to 50 mV greater than D2  
Charge terminals on 5°C temperature rise. Couple D2 to battery

Differential Temperature Sensor

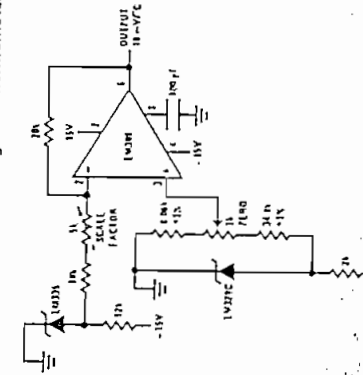


Variable Offset Thermometer

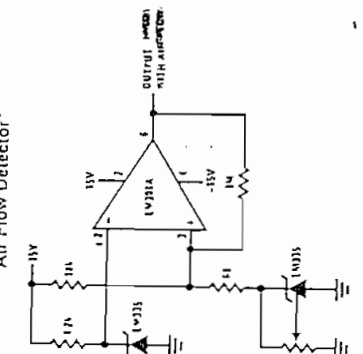


Adjust for zero with sensor at 0°C and 10T not set at 0°C  
Adjust for zero output with 10T not set at 100°C and sensor at 100°C  
Output reads difference between temperature and dial setting of 10T pot

Ground Referred Centigrade Thermometer



Air Flow Detector



## Application Hints

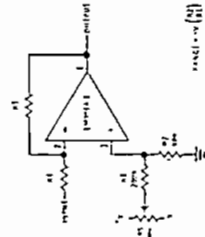
A very low drift amplifier poses some uncommon application and testing problems. Many sources of error can cause the apparent circuit drift to be much higher than would be predicted.

Thermocouple effects caused by temperature gradient across dissimilar metals are perhaps the worst offenders. Only a few degrees gradient can cause hundreds of microvolts of error. The two places this shows up, generally, are the package-to-printed circuit board interface and temperature gradients across resistors. Keeping package leads short and the two input leads close together help greatly.

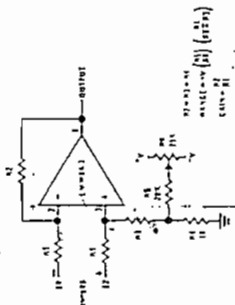
Resistor choice as well as physical placement is important for minimizing thermocouple effects. Carbon, oxide film and some metal film resistors can cause large thermocouple errors. Wirewound resistors of evanohm or manginuin are best since they only generate about  $2 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$  referenced to copper. Of course, keeping the resistor ends at the same temperature is important. Generally, shielding a low drift stage electrically and thermally will yield good results.

Resistors can cause other errors besides gradient generated voltages. If the gain setting resistors do not track with temperature a gain error will result. For example a gain of 1000 amplifier with a con-

### Offset Adjustment for Inverting Amplifiers



### Offset Adjustment for Differential Amplifiers



stant 10 mV input will have a 10V output. If the resistors mistrack by 0.5% over the operating temperature range, the error at the output is 50 mV. Referred to input, this is a 50  $\mu\text{V}$  error. All of the gain fixing resistor should be the same material.

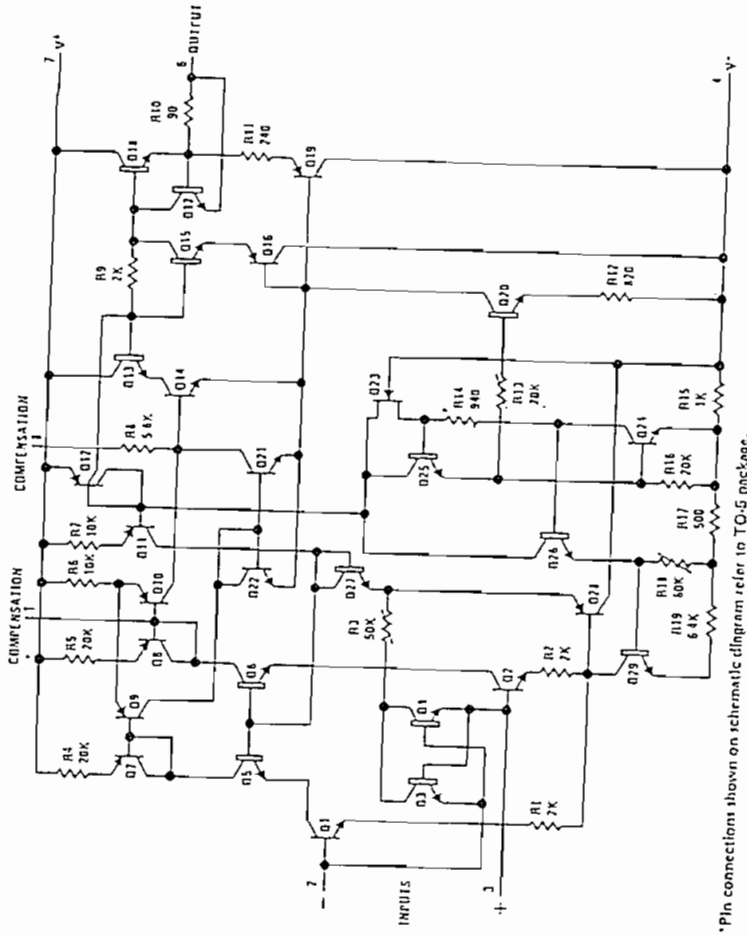
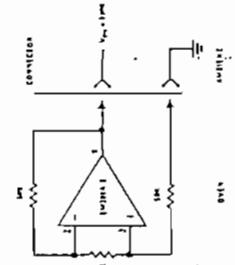
Offset balancing the LM308A-1 can be a problem since there is no easy offset adjustment incorporated into the circuit. These devices are selected for low drift with no offset adjustment to the internal circuitry, so any change of the internal currents will change the drift — probably for the worse. Offset adjustment must be done at the input. The three most commonly needed circuits are shown here.

Testing low drift amplifiers is also difficult. Standard drift testing technique such as heating the device in an oven and having the leads available through a connector, thermoprobe, or the soldering iron method — do not work. Thermal gradients cause much greater errors than the amplifier drift. Coupling microvolt signal through connectors is especially bad since the temperature difference across the connector can be  $50^\circ\text{C}$  or more. The device under test along with the gain setting resistor should be isothermal. The following circuit will yield good results if well constructed.

### Offset Adjustment for Non-Inverting Amplifiers

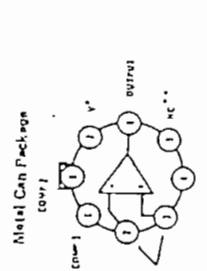


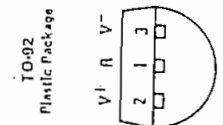
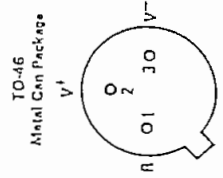
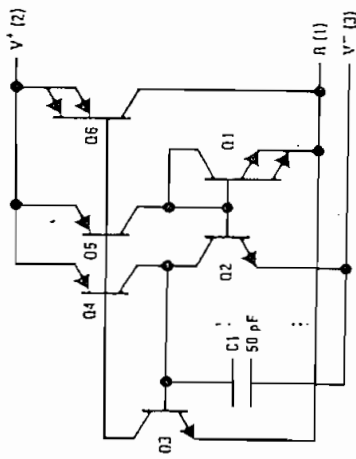
### Drift Measurement Circuit



\*Pin connections shown on schematic diagram refer to TO-5 package.

## Connection Diagrams





TO-46 Metal Can Package

TO-92 Plastic Package

BOTTOM VIEW

BOTTOM VIEW

Pin 3 is electrically connected to case

Order Number LM134H, LM134H-3, LM134H-6, LM234H, LM234H-3, LM234H-6 or LM334H  
See NS Package H03H

Order Number LM334Z, LM234Z-3 or LM234Z-6  
See NS Package Z03A

**LM135/LM235/LM335, LM135A/LM235A/LM335A Precision Temperature Sensors**

**General Description**

The LM135 series are precision, easily calibrated, integrated circuit temperature sensors. Operating as a 2-terminal zener, the LM135 has a breakdown voltage directly proportional to absolute temperature at  $\pm 10$  mV/ $^{\circ}$ K. With less than 1 $\Omega$  dynamic impedance the device operates over a current range of 400  $\mu$ A to 5 mA with virtually no change in performance. When calibrated at 25 $^{\circ}$ C the LM135 has typically less than 1 $^{\circ}$ C error over a 100 $^{\circ}$ C temperature range. Unlike other sensors the LM135 has a linear output.

Applications for the LM135 include almost any type of temperature sensing over a -55 $^{\circ}$ C to +150 $^{\circ}$ C temperature range. The low impedance and linear output make interfacing to testout or control circuitry especially easy.

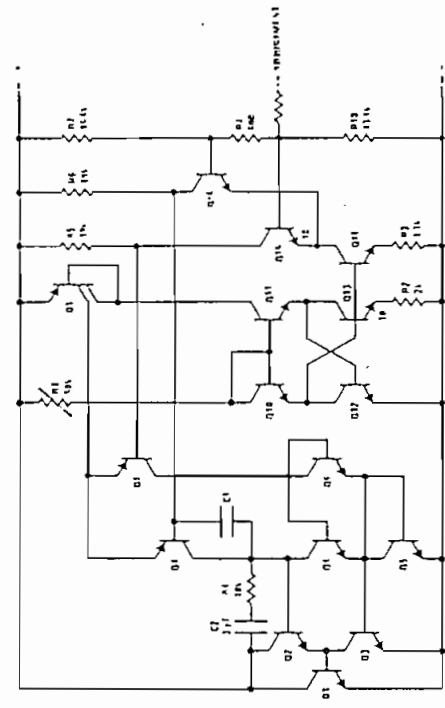
The LM135 operates over a -55 $^{\circ}$ C to +150 $^{\circ}$ C temperature range while the LM235 operates over a -40 $^{\circ}$ C

to +125 $^{\circ}$ C temperature range. The LM135A/LM235A/LM335A are available packaged in hermetic TO-18 packages while the LM335 is also available in TO-92 packages.

**Features**

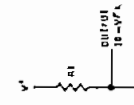
- Directly calibrated in Kelvin
- 1 $^{\circ}$ C initial accuracy available
- Operates from 400  $\mu$ A to 5 mA
- Less than 1 $\Omega$  dynamic impedance
- Easily calibrated
- Wide operating temperature range
- 200 $^{\circ}$ C overrange
- Low cost

**Schematic Diagram**

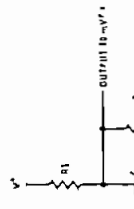


**Typical Applications**

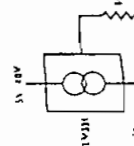
Basic Temperature Sensor



Calibrated Sensor



Wide Operating Range





**Absolute Maximum Ratings**

- Reverse Current : 15 mA
- Forward Current : 10 mA
- Storage Temperature : -60°C to +180°C
- TO-46 Package : -60°C to +150°C
- TO-92 Package : Intermittent (Note 2)
- Specified Operating Temperature Range : 55°C to +150°C
- Continuous : 150°C to 200°C
- LM135, LM135A : 55°C to +150°C
- LM235, LM235A : -40°C to +125°C
- LM335, LM335A : -40°C to +100°C
- Lead Temperature (Soldering, 10 seconds) : 300°C

**Temperature Accuracy LM135/LM235, LM135A/LM235A (Note 1)**

PARAMETER	CONDITIONS	LM135A/LM235A			LM135/LM235			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Operating Output Voltage	$T_C = 25^\circ\text{C}, I_R = 1\text{ mA}$	2.97	2.98	2.99	2.95	2.98	3.01	V
Uncalibrated Temperature Error	$T_C = 25^\circ\text{C}, I_R = 1\text{ mA}$		0.5	1		1	3	°C
Uncalibrated Temperature Error	$T_{MIN} < T_C < T_{MAX}, I_R = 1\text{ mA}$		1.3	2.7		2	5	°C
Temperature Error with 25°C Calibration	$T_{MIN} < T_C < T_{MAX}, I_R = 1\text{ mA}$		0.3	1		0.5	1.5	°C
Calibrated Error at Extended Temperatures	$T_C = T_{MAX}$ (Intermittent)		?			2		°C
Non-Linearity	$I_R = 1\text{ mA}$		0.3	0.5		0.3	1	°C

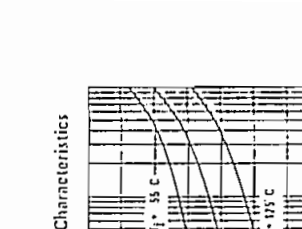
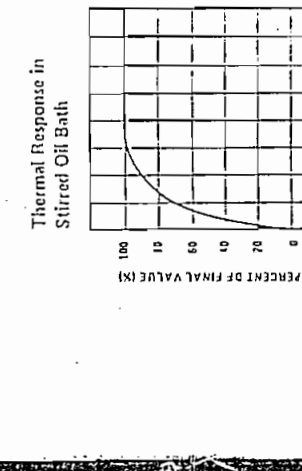
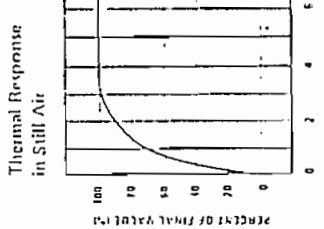
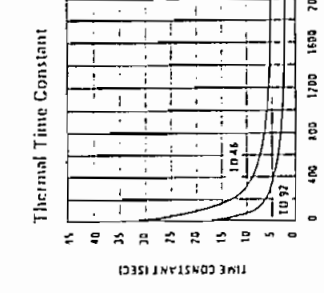
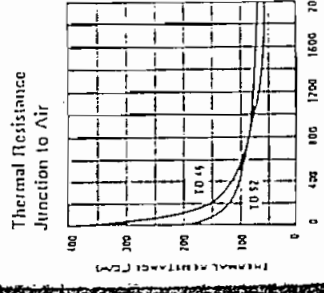
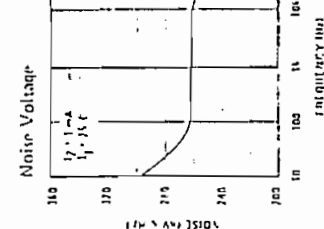
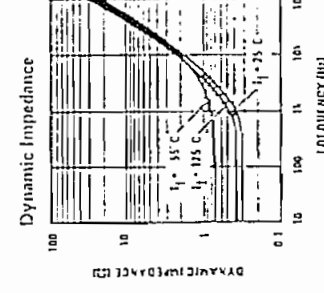
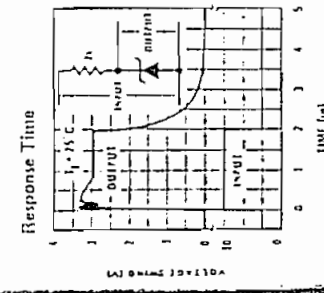
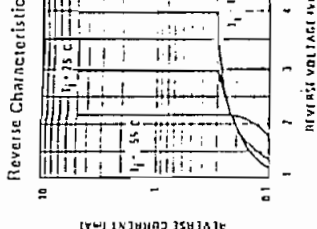
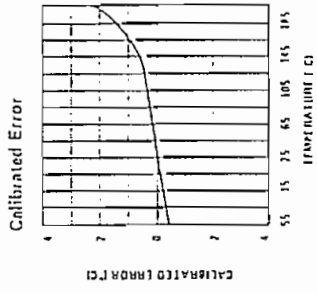
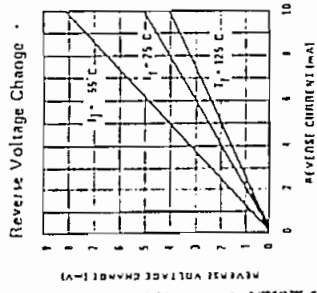
**Temperature Accuracy LM335, LM335A (Note 1)**

PARAMETER	CONDITIONS	LM335A			LM335			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Operating Output Voltage	$T_C = 25^\circ\text{C}, I_R = 1\text{ mA}$	2.95	2.98	3.01	2.92	2.98	3.04	V
Uncalibrated Temperature Error	$T_C = 25^\circ\text{C}, I_R = 1\text{ mA}$		1	3		2	6	°C
Uncalibrated Temperature Error	$T_{MIN} < T_C < T_{MAX}, I_R = 1\text{ mA}$		2	5		4	9	°C
Temperature Error with 25°C Calibration	$T_{MIN} < T_C < T_{MAX}, I_R = 1\text{ mA}$		0.5	1		1	2	°C
Calibrated Error at Extended Temperatures	$T_C = T_{MAX}$ (Intermittent)		2			2		°C
Non-Linearity	$I_R = 1\text{ mA}$		0.3	1.5		0.3	1.5	°C

**Electrical Characteristics (Note 1)**

PARAMETER	CONDITIONS	LM135/LM235 LM135A/LM235A			LM335 LM335A			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Operating Output Voltage Change with Current	$400\ \mu\text{A} < I_R < 5\text{ mA}$		2.5	10		3	14	mV
Dynamic Impedance	$I_R$ Constant Temperature		0.5			0.6		$\Omega$
Output Voltage Temperature Drift	$I_R = 1\text{ mA}$		+10			+10		mV/°C
Time Constant	Still Air		80			80		sec
	100 ft/Min Air Stirred Oil Bath		10			10		sec

**Typical Performance Characteristics**





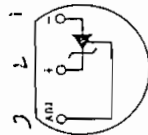
the positive and negative terminals of the device at specified conditions of operating temperature and current.

**Uncalibrated Temperature Error:** The error between the operating output voltage at 10 mV/K and case temperature at specified conditions of current and case temperature.

### Connection Diagrams

TO-92

Plastic Package

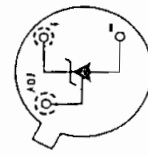


RIGHT SIDE VIEW

Order Number LM335Z  
or LM335AZ  
See NS Package 203A

TO-46

Metal Can Package\*



RIGHT SIDE VIEW

\* Case 1k connected to negative pin  
Order Number LM135H,  
LM235H, LM335H, LM135AH,  
LM235AH or LM335AH  
See NS Package 1103H

ating output voltage and case temperature at 10 mV/K over a temperature range at a specified operating current with the 25°C error adjusted to zero.

# SEMICONDUCTOR

## LM555/LM555C Timer

### General Description

The LM555 is a highly stable device for generating accurate time delays or oscillation. Additional terminals are provided for triggering or resetting if desired. In the time delay mode of operation, the time is precisely controlled by one external resistor and capacitor. For astable operation as an oscillator, the free running frequency and duty cycle are accurately controlled with two external resistors and one capacitor. The circuit may be triggered and reset on falling waveforms, and the output circuit can source or sink up to 200 mA or drive TTL circuits.

### Features

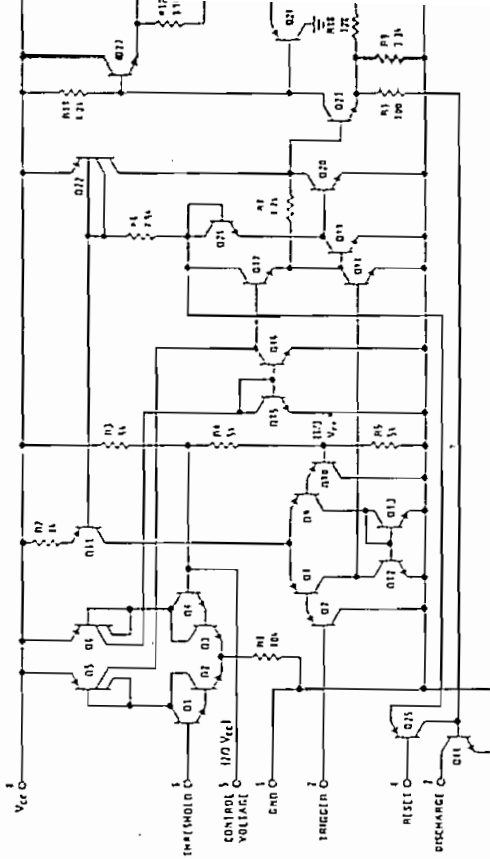
- Direct replacement for SE555/NE555
- Timing from microseconds through hours
- Operates in both astable and monostable modes

- Adjustable duty cycle
- Output can source or sink 200 mA
- Output and supply TTL compatible
- Temperature stability better than 0
- Normally on and normally off output

### Applications

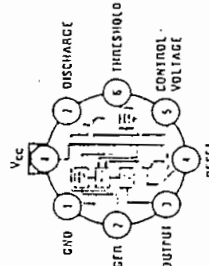
- Precision timing
- Pulse generation
- Sequential timing
- Time delay generation
- Pulse width modulation
- Pulse position modulation
- Linear ramp generator

### Schematic Diagram

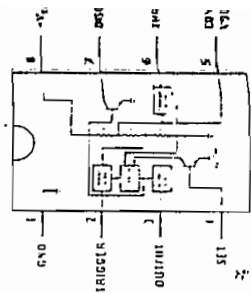


### Connection Diagrams

Metal Can Package



Dual-In-Line Package

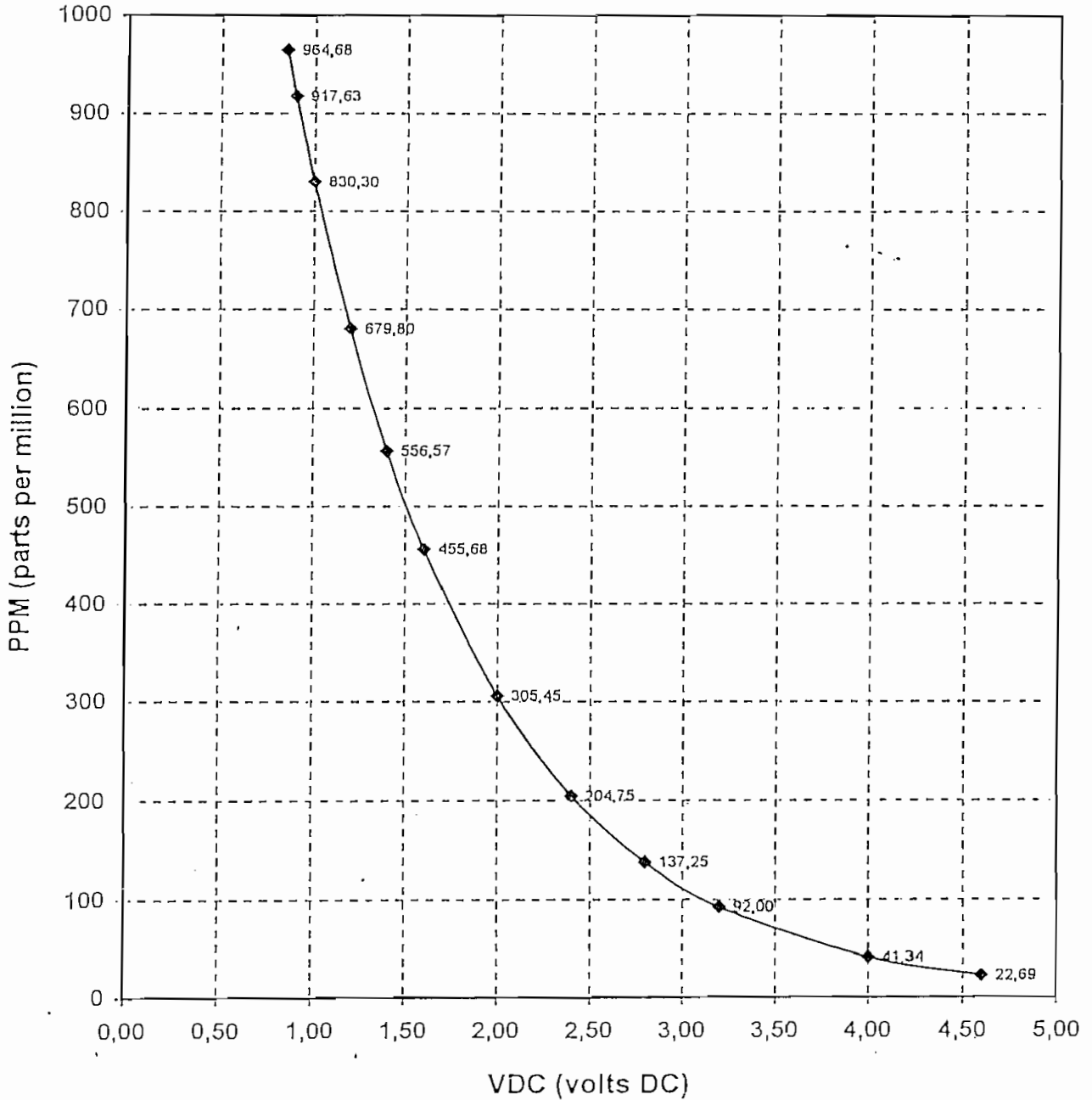


TOP VIEW

Order Number LM555CN

# NIGHTHAWK SYSTEMS INC. CARBON MONOXIDE DETECTOR

Approximate transfer function:  
 $PPM = 2.257 \cdot 10^3 / e^{E \text{ VDC}}$



**MM54C922/MM74C922 16-Key Encoder**  
**MM54C923/MM74C923 20-Key Encoder**

**General Description**

These CMOS key encoders provide all the necessary logic to fully encode an array of SPST switches. The keyboard scan can be implemented by either an external clock or external capacitor. These encoders also have on-chip pull up devices which permit switches with up to 50 kΩ on resistance to be used. No diodes in the switch array are needed to eliminate ghost switches. The internal debounce circuit needs only a single external capacitor and can be eliminated by omitting the capacitor. A Data Available output goes to a high level when a valid keyboard entry has been made. The Data Available output returns to a low level when the entered key is released, even if another key is depressed. The Data Available will return high to indicate acceptance of the next key after a normal debounce period, this two key roll over is provided between any two switches.

An internal register remembers the last key pressed even after the key is released. The TRI-STATE outputs

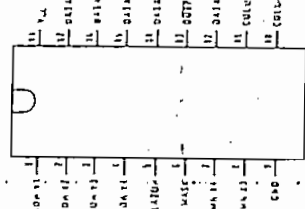
provide for easy expansion and bus operation and are LPTTL compatible.

**Features**

- 50 kΩ minimum switch on resistance
- On or off chip clock
- On chip turn pull up devices
- 2 key roll over
- Key bounce elimination with single capacitor
- Last key register at outputs
- TRI-STATE outputs LPTTL compatible
- Wide supply range 3V to 15V
- Low power consumption

**Connection Diagrams**

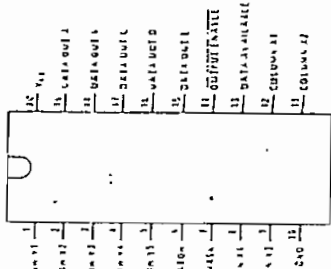
Quad In-Line Package



16P Pin

Order Number MM54C922N  
 or MM74C922N  
 See Package 20

Dual In-Line Package



16P Pin

Order Number MM54C923N  
 or MM74C923N  
 See Package 20A

MM54C922/MM74C922, MM54C923/MM74C923



**Absolute Maximum Ratings (Note 1)**

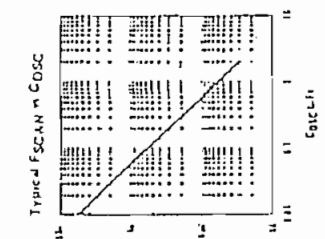
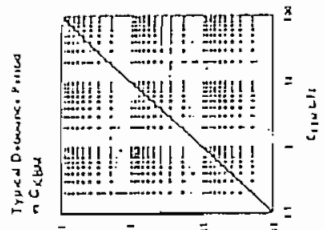
Voltage at Any Pin VCC - 0.3V to VCC + 0.3V  
 Operating Temperature Range -55°C to +125°C  
 Storage Temperature Range -65°C to +150°C  
 Power Dissipation  
 Operating VCC Range  
 VCC  
 Lead Temperature (Soldering 10 seconds)

**DC Electrical Characteristics** Min/Max limits apply across temperature range unless otherwise

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX
<b>CMOS TO CMOS</b>				
V <sub>T+</sub> Positive Going Threshold Voltage at One and XBM Inputs	VCC - 5V, I <sub>IN</sub> = 0.1 mA VCC + 10V, I <sub>IN</sub> ≥ 1.4 mA VCC + 15V, I <sub>IN</sub> ≥ 1.1 mA	3	3.6	4.3
V <sub>T-</sub> Negative Going Threshold Voltage at One and XBM Inputs	VCC + 5V, I <sub>IN</sub> ≥ 0.7 mA VCC + 10V, I <sub>IN</sub> ≥ 1.4 mA VCC + 15V, I <sub>IN</sub> ≥ 1.1 mA	0.7	1.4	7
V <sub>IH(1)</sub> Logical "1" Input Voltage, Except One and XBM Inputs	VCC + 5V, VCC + 10V, VCC + 15V,	3.5	4.5	4.5
V <sub>IL(1)</sub> Logical "0" Input Voltage, Except One and XBM Inputs	VCC + 5V, VCC + 10V, VCC + 15V,	0	0	1.5
I <sub>IP</sub> Bus Pull Up Current at Y1, Y2, Y3, Y4 and Y5 Inputs	VCC + 5V, V <sub>IH</sub> = 0.1 VCC VCC + 10V VCC + 15V	4.5	7	20
V <sub>OUT(1)</sub> Logical "1" Output Voltage	VCC + 5V, I <sub>O</sub> = 10 μA VCC + 10V, I <sub>O</sub> = 10 μA VCC + 15V, I <sub>O</sub> = 10 μA	4.5	7	10
V <sub>OUT(0)</sub> Logical "0" Output Voltage	VCC + 5V, I <sub>O</sub> = 10 μA VCC + 10V, I <sub>O</sub> = 10 μA VCC + 15V, I <sub>O</sub> = 10 μA	0	0	0.05
R <sub>ON</sub> Pullup "ON" Resistance at X1, X2, X3 and X4 Outputs	VCC + 5V, V <sub>O</sub> = 0.5V VCC + 10V, V <sub>O</sub> = 1V VCC + 15V, V <sub>O</sub> = 1.5V	500	700	1400
I <sub>CC</sub> Supply Current	VCC 5V, One "0" VCC + 10V VCC + 15V	0.55	1.1	1.9
I <sub>IH(1)</sub> Logical "1" Input Current at Output Enable	VCC + 15V, V <sub>IH</sub> = 15V	1.7	2.5	2.5
I <sub>IL(0)</sub> Logical "0" Input Current at Output Enable	VCC 15V, V <sub>IN</sub> = 0V	1.0	0.005	0.005
<b>CMOS/LPTTL INTERFACE</b>				
V <sub>IH(1)</sub> Logical "1" Input Voltage, Except One and XBM Inputs	54C, VCC + 4.5V 74C, VCC + 4.75V	VCC 1.5	VCC 1.5	0.8
V <sub>IL(0)</sub> Logical "0" Input Voltage, Except One and XBM Inputs	54C, VCC + 4.5V 74C, VCC + 4.75V	7.4	7.4	0.8
V <sub>OUT(1)</sub> Logical "1" Output Voltage	54C, VCC + 4.5V, I <sub>O</sub> = 360 μA 74C, VCC + 4.75V, I <sub>O</sub> = 360 μA	7.4	7.4	0.4
V <sub>OUT(0)</sub> Logical "0" Output Voltage	54C, VCC + 4.5V, I <sub>O</sub> = 360 μA	0	0	0.4

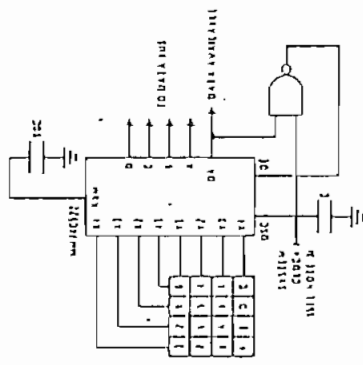


Typical Performance Characteristics (Cont'd)



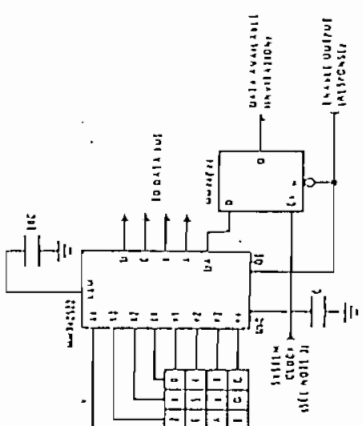
Typical Applications

Synchronous Data Entry Onto Bus (MM74C922)

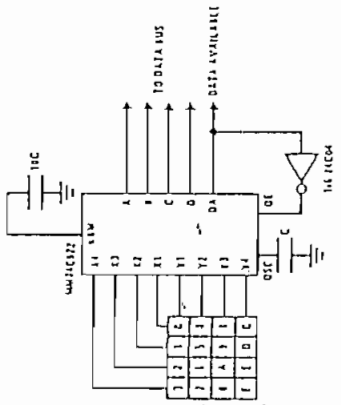


Outputs are enabled when valid entry is made and go into TRI-STATE when key is released.

Synchronous Handshaking (MM74C922)



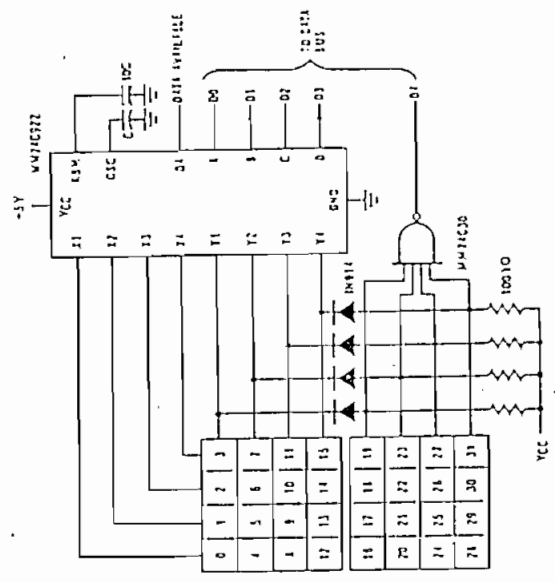
Asynchronous Data Entry Onto Bus (MM74C922)



Outputs are in TRI-STATE until key is pressed, then data is placed on bus. When key is released, output return to TRI-STATE.

Typical Application (Cont'd)

Expansion to 32 Key Encoder (MM74C922)



Theory of Operation

The MM74C922/MM74C923 Keyboard Encoders implement all the logic necessary to interface a 16 or 20 SPST key switch matrix to a digital system. The encoder will convert a key switch closure to a 4(MM74C922) or 5(MM74C923) bit nibble. The designer can control both the keyboard scan rate and the key debounce period by altering the oscillator capacitor, COSC, and the key bounce mask capacitor, CUBK. Thus, the MM74C922/MM74C923's performance can be optimized for many keyboards.

The keyboard encoders connect to a switch matrix that is 4 rows by 4 columns (MM74C922) or 5 rows by 4 columns (MM74C923). When no keys are depressed, the row inputs are pulled high by internal pull-ups and the column outputs continually output a logic "0". These outputs are open drain and are therefore low for 25% of the time and otherwise off. The column scan rate is controlled by the oscillator input, which consists of a Schmitt trigger oscillator, a 2-bit counter, and a 2-to-4-bit decoder.

When a key is depressed, key 0, for example, nothing will happen when the X1 input is off, since Y1 will remain high. When the X1 column is scanned, X1 goes low and Y1 will go low. This disables the counter and keeps X1 low. Y1 going low also initiates the key bounce circuit

liming and locks out the other inputs. The key code is outputted as a combination of the frozen counter and the decoded Y inputs. Once the key bounce times out, the data is latched, and the Data Available (DAV) output goes high.

If, during the key closure the switch bounces, Y1 will go high again, restarting the scan and resetting key bounce circuitry. The key may bounce several times but as soon as the switch stays low for a debounce period, the closure is assumed valid and the data is latched.

A key may also bounce when it is released. To prevent that the encoder does not recognize this bounce, another key closure, the debounce circuit must latch before another closure is recognized.

The two key roll over feature can be illustrated by summing a key is depressed, and then a second key is depressed. Since all scanning has stopped, the other Y inputs are disabled, the second key is not recognized until the first key is latched and the key bounce circuitry has reset.

The output latches feed TRI-STATE\*, which are active when the Output Enable (OE) input is taken low.

MM54C922/MM74C922, MM54C923/MM74C923



MM54C922/MM74C922, MM54C923/MM74C923

Board Supplier  
Key-Switch K.L.  
Lan Company  
Santa Ana, California  
Electronics Engineering  
Fairwood Blvd  
Wood, California 90046

## ANEXO B.1

### INFORMACION NORMATIVA



dentro de las zonas metropolitanas centrales, el uso de vías para el tránsito de vehículos durante los horarios establecidos, según las necesidades técnicas determinadas por la misma unidad.

Art. 11.376.- SISTEMAS DE MEDICION.- El Municipio establecerá sistemas de medición y mantendrá controles de los niveles de contaminación atmosférica causada por fuentes fijas artificiales, con excepción de las chimeneas de uso doméstico, según las normas de calidad del aire establecidas por la autoridad competente.

Art. 11.377.- SUSPENSIÓN DEL PERMISO DE FUNCIONAMIENTO POR EMISIONES GASEOSAS.- Cuando los niveles de contaminación, por partículas o emisiones gaseosas superen el ciento por ciento de la norma de emisión permitida durante dos periodos mensuales consecutivos de medición, se suspenderá el permiso de funcionamiento, hasta que se compruebe que se han tomado las acciones correctivas técnicas necesarias para asegurar que las emisiones a la atmósfera estén dentro de los niveles permitidos.

En caso de reincidencia, la unidad administrativa a cargo del área de medio ambiente podrá ordenar la reubicación del establecimiento.

Art. 11.372.- DIVULGACION DE LOS INDICES DE CONTAMINACION.- La unidad administrativa a cargo del área de medio ambiente divulgará periódicamente, por medios masivos, los índices de contaminación registrados en Quito, dando sugerencias a la población sobre las precauciones que deberá tomar para el cuidado de la salud. Así mismo divulgará otras medidas destinadas al control ecológico.

Art. 11.373.- FACULTADES DE LA UNIDAD ADMINISTRATIVA A CARGO DEL AREA DE MEDIO AMBIENTE. Además de las facultades y atribuciones previstas en este Capítulo, la unidad administrativa encargada del área de medio ambiente ejercerá las que le correspondan a la administración municipal en lo relativo a la prevención y control de la contaminación ambiental, según lo previsto en las normas vigentes y en virtud de las delegaciones hechas conforme a la ley por las autoridades de salud.

#### CAPITULO IV

##### Del Control de la Contaminación Vehicular

Art. 11.374.- NORMA DE CONTAMINACION.- Ningún vehículo que circule en el Distrito Metropolitano de Quito podrá arrojar gases que excedan el sesenta por ciento de la escala de opacidad.

El Municipio del Distrito Metropolitano de Quito controlará el cumplimiento de esta disposición mediante el uso de acetímetros u otros instrumentos técnicos de medición.

Art. 11.375.- PROHIBICION DE EXPENDIO Y USO DE GASOLINA CON PLOMO.- Se prohíbe el expendio de gasolina con plomo así como la circulación de vehículos que licen ese combustible en el Distrito Metropolitano de Quito.

Art. 11.376.- REGULACION DE COMPUESTOS

Metropolitano de Quito deberá sujetarse a las normas de límites máximos de contenido de compuestos aromáticos, olefinas y benceno determinados en el Reglamento a este Capítulo.

Art. 11.377.- FILTRACION DE DIESEL.- Todas las gasolineras y estaciones de servicio que expendan diesel en el Distrito Metropolitano de Quito, deberán instalar filtros que mejoren la calidad del combustible. Las características técnicas mínimas de los filtros serán determinadas en el Reglamento a este Capítulo.

Art. 11.378.- REGULACION DE AZUFRE EN EL DIESEL.- El contenido máximo de azufre en el diesel que se expendan en el Distrito Metropolitano de Quito será fijado en el Reglamento a este Capítulo.

Art. 11.379.- CONVERTIDORES CATALITICOS.- Los vehículos a gasolina, modelo 1998 en adelante, solo podrán circular en el Distrito Metropolitano de Quito si tienen instalado y funcionando un convertidor catalítico. Los requerimientos mínimos serán fijados en el Reglamento a este Capítulo.

Art. 11.380.- OTROS IMPLEMENTOS ANTICONTAMINANTES.- Los vehículos a gasolina, modelo 1997 en adelante, solo podrán circular en el Distrito Metropolitano de Quito si tienen instalado y funcionando sistemas de control de emisiones evaporativas, tales como dispositivos de ventilación positiva del cárter, el canister y otros que garanticen el cumplimiento de los límites máximos de emisión.

Art. 11.381.- LIMITES MAXIMOS DE EMISION.- Las emisiones de los escapes de los vehículos a gasolina y diesel que circulen en el Distrito Metropolitano de Quito, no deberán exceder los límites fijados en el Reglamento a este Capítulo.

Art. 11.382.- SANCIONES.- Cuando en los operativos de control se constate que el vehículo que circula emite gases que superan el sesenta por ciento de opacidad, se notificará la infracción al propietario o al conductor, a fin de que el primero pague una multa que será equivalente a cinco veces el salario mínimo vital general. El vehículo será retenido y puesto fuera de circulación, pudiendo ser retirado por su propietario con el fin de hacer las reparaciones que impidan la contaminación, previa presentación del comprobante de pago de la primera multa y de una garantía en efectivo, bancaria, póliza de seguro o cheque certificado, equivalente a quince salarios mínimos vitales generales, para lo cual se seguirá el procedimiento que establezca el Reglamento a este Capítulo. Dicha garantía se hará efectiva si, en el plazo de quince días, el propietario no presenta el vehículo arreglado de tal modo que no contamine.

Por el incumplimiento de los demás artículos de este Capítulo se impondrán las multas que se indican a continuación:

- Cincuenta salarios mínimos vitales generales por evento para los que expendan gasolina con plomo y diez salarios mínimos vitales generales para quienes circulen en vehículos impulsados por gasolina con plomo;
- Cincuenta salarios mínimos vitales generales y clausura de cinco días a los locales de expendio que incumplan lo previsto en los artículos 11.375, 11.377 y 11.378. En caso de

- c) Cinco salarios mínimos vitales generales por evento, a quien incumpla lo previsto en los artículos II.379, II. 380 y II.381.

El control se efectuará a través de los medios que establezca el Alcalde en el Reglamento a este Capítulo y estará a cargo de la unidad administrativa que se indique en aquél. Las sanciones serán impuestas por los comisarios metropolitanos.

Art. II.383.- ACCION POPULAR E INSPECTORES HONORARIOS.- Conforme lo dispone el artículo 29 de la Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, hay acción popular para denunciar ante el Municipio las infracciones a las normas de este Capítulo.

El Alcalde podrá designar inspectores honorarios que reporten las violaciones que se produzcan.

## TITULO VI

### DE LA HIGIENE Y DE LA OBTENCION DE EXAMENES DE LABORATORIO E IMAGEN, CERTIFICADOS DE SALUD Y PERMISOS SANITARIOS DE FUNCIONAMIENTO

Art. II.384.- CONTROL SANITARIO.- Compete a la unidad administrativa encargada del área de higiene ejercer el control sanitario de los siguientes establecimientos y actividades del Distrito Metropolitano de Quito, así como la prestación de los servicios de laboratorio:

- a) Edificios privados y viviendas en general;
- b) Talleres;
- c) Mercados, supermercados, micromercados, tiendas de abarrotes y locales de abastos;
- d) Consignaciones de víveres y frutas;
- e) Vendedores ambulantes y estacionarios,
- f) Bares, restaurantes, cafeterías, heladerías, fuentes de soda, picanterías, fondas, figones, comedores populares y cantinas;
- g) Tercenas, pescaderías y salchicherías;
- h) Mataderos en general y casas de rastro;
- i) Lugares destinados a recreación, teatros, cines, estadios, plazas de toros y coliseos;
- j) Peluquerías y salones de belleza;
- k) Solares no edificados; y,
- l) Instalaciones de asco público, de agua potable, recolección y destino final de basuras y desechos.

Todos los precedentes son áreas de delegación que constan en el Acuerdo 11593 del 24 de marzo de 1979, del Ministerio de Salud Pública.

Art. II.385.- CERTIFICADO ANUAL DE SALUD.- Es obligación de los elaboradores, manipuladores y expendedores

de alimentos y bebidas comprendidos en el presente Título, sin excepción, obtener anualmente el certificado de salud en la unidad administrativa encargada del área de higiene.

Art. II.386.- PERMISO SANITARIO PARA CIERTAS ACTIVIDADES.- El Permiso Sanitario de Funcionamiento en todos los establecimientos señalados en el artículo III.130, se concederá luego de realizados los trámites legales y una vez pagada la tasa anual a la que se refiere ese mismo artículo.

Para la concesión del Permiso Sanitario de Funcionamiento, las actividades indicadas en el número 14 del artículo III.130, se sujetarán a lo previsto en el Capítulo II del Título IV de este Libro.

Las actividades consideradas en los números 19 y 20 del artículo III.130, se sujetarán a lo que dispone el Capítulo III del Título V de este Libro.

Art. II.387.- DOCUMENTOS NECESARIOS.- Para la obtención de permisos sanitarios de funcionamiento, las personas naturales o jurídicas presentarán los siguientes documentos:

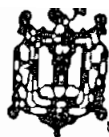
- a) Patente Municipal del año en curso, cuando fuere obligatorio, según la Ley y este Código;
- b) Certificado de salud otorgado por la unidad administrativa encargada del área de higiene, de todas las personas que laboren en las actividades correspondientes;
- c) Informe aprobado por la Zona Sanitaria respectiva, por el que se acredite que los locales han cumplido con todos los requisitos indispensables para cada actividad; y,
- d) Pago de la tasa correspondiente, determinada en el artículo III.118.

Al solicitar el permiso sanitario de funcionamiento, el interesado deberá determinar en forma clara la actividad que va a ejercer y señalar, además, la razón social o nombre del propietario, ubicación exacta del establecimiento, cédula de identidad, total de activos y fecha de iniciación de la actividad.

Art. II.388.- OBLIGACION DE MANTENER EL PERMISO EN LUGAR VISIBLE.- Es obligación de los propietarios o administradores de negocios sujetos a las normas de este Título, mantener en lugar visible el Permiso Sanitario de Funcionamiento, para efecto de control.

Art. II.389.- FACULTAD DE LOS FUNCIONARIOS MUNICIPALES.- De conformidad con el artículo 244 del Código de Salud, los funcionarios de la unidad administrativa encargada del área de higiene, debidamente identificados, podrán entrar libremente en los lugares cerrados o abiertos, en cumplimiento de sus funciones, sin que este hecho de lugar a la acción por violación de domicilio.

Art. II.390.- RETIRO DE CERTIFICADO O PERMISOS.- Cuando no se cumplieren o se violaren las disposiciones del Código de la Salud, las normas del Instituto Ecuatoriano de Normalización, las ordenanzas y los reglamentos municipales, los funcionarios de la unidad administrativa encargada del área



Ordenanza N° 3120

EL CONCEJO METROPOLITANO DE QUITO

...co el Informe No. IC-94-613 del 14 de noviembre de 1994, de la Comisión de Legislación; y

CONSIDERANDO:

Que, El Distrito Metropolitano sufre un deterioro acelerado de la calidad de aire debido al proceso de contaminación, que afecta gravemente a la salud humana y que de acuerdo a diversos estudios realizados tiene como principal fuente los vehiculos;

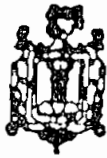
Que, Con fecha 11 de mayo de 1994, el Concejo Metropolitano de Quito aprobò la Ordenanza No. 3087 para el Control de la Contaminación Vehicular, la cual establecia la necesidad de evaluar su cumplimiento y realizar las modificaciones que fueran menester; lo cual logrado a través de los operativos de control implementados a partir del 20 de junio de 1994, han sido exitosos, pues consiguieron que más del 50% de vehiculos a diesel reparen sus motores;

Que, Los mecanismos de control se han tecnificado y no presentan actualmente ninguna subjetividad en su medición; por lo que para poder controlar en mayor medida la contaminación vehicular, conviene incorporar disposiciones que la experiencia y la práctica recomienda;

En ejercicio de las atribuciones que le confieren el numeral 2 del artículo 15 de la Ley de Régimen Municipal y el numeral 3 del Art. 2 y el numeral 2 del artículo 8 de la Ley de Régimen para el Distrito Metropolitano de Quito.

ES FIEL COPIA DEL ORIGINAL  
LO CERTIFICO

Jorge Pérez S.  
SECRETARIO GENERAL DEL  
CONCEJO METROPOLITANO  
DE QUITO



Ordenanza N° 3120

- b) Cuando en los operativos de control se constate que un vehículo circula con el tubo de escape o silenciador en mal estado, le notificará la infracción al propietario o al conductor del mismo, a fin de que el propietario o cualquier persona en su nombre, se acerque a pagar la multa que será el equivalente a tres (3) veces el Salario Mínimo Vital General que se halle en vigencia a la fecha de la sanción.
- c) Cuando en los operativos de control se constate que el conductor del vehículo utilice el pito de manera innecesaria, o use cornetas neumáticas dentro del perímetro urbano, o tenga instaladas cornetas neumáticas en el caso de un vehículo destinado exclusivamente al transporte urbano, le notificará la infracción al propietario o al conductor del mismo, a fin de que el propietario o cualquier persona en su nombre, se acerque a pagar la multa que será el equivalente a dos (2) veces el Salario Mínimo Vital General que se halle en vigencia a la fecha de la sanción.
- d) Cuando en los operativos de control se constate que el vehículo que circula emite gases que superen el 60% de opacidad según el OPACIMETRO, le notificará la infracción al propietario o al conductor del mismo, a nombre, se acerque a pagar la multa que será el equivalente a cinco (5) veces el Salario Mínimo Vital General que se halle en vigencia a la fecha de la sanción, y el vehículo será retenido y puesto fuera de circulación, pudiendo ser retirado por el propietario del mismo con el fin de hacer las reparaciones que impidan la contaminación, previa la presentación del comprobante de pago de la primera multa y de una garantía en efectivo, bancaria, de seguro o un cheque certificado, equivalente a quince (15) Salarios Mínimos Vitales Generales, para lo cual se seguirá el procedimiento establecido en el respectivo instructivo. Dicha garantía será efectivizada si en el plazo de quince días, el propietario no presenta el vehículo arreglado de tal modo que no contamine.

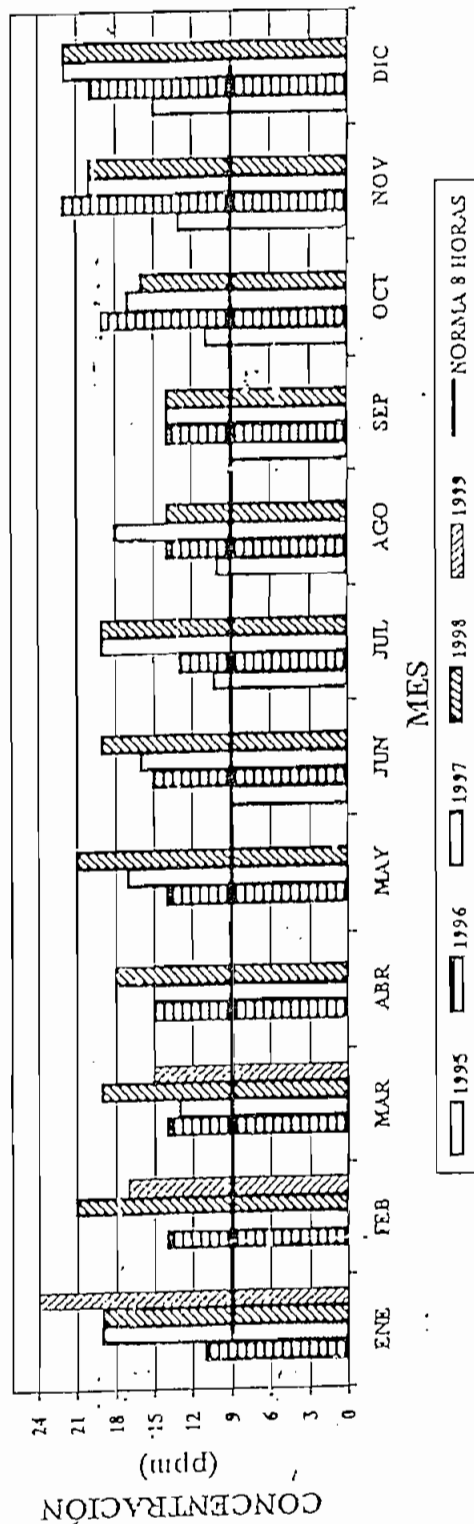
ES FIEL COPIA DEL ORIGINAL  
LO CERTIFICO

*[Firma]*  
Dolores Pérez S.

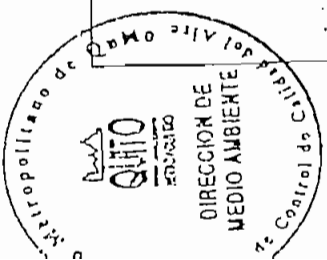
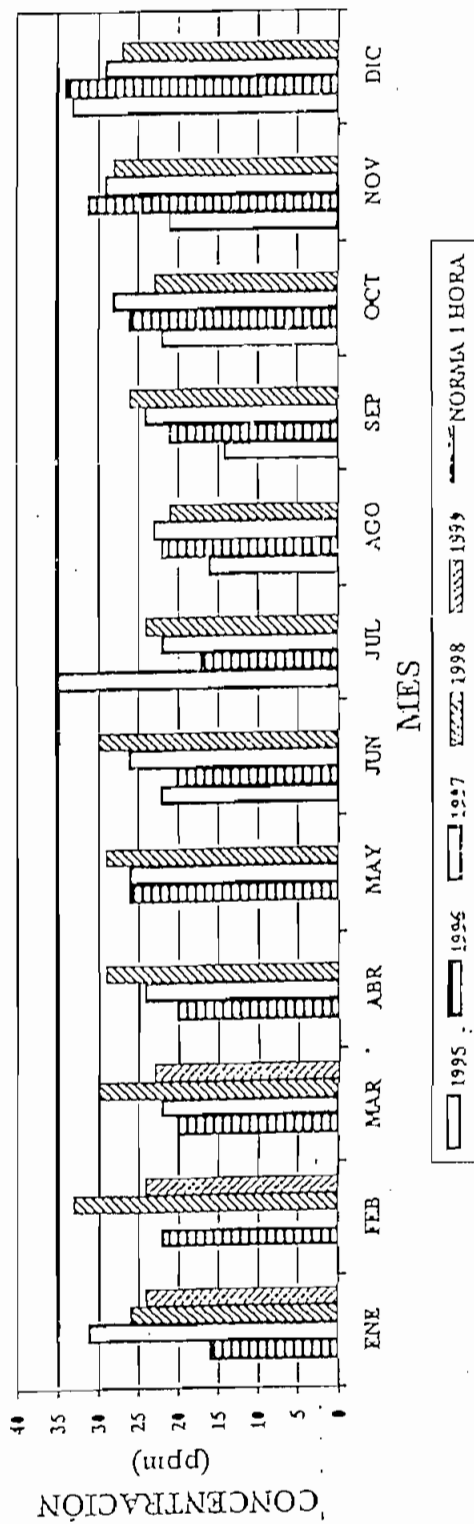
# CONCENTRACIONES DE MONÓXIDO DE CARBONO

SECTOR NORTE: Av. 10 de Agosto y Mariana de Jesús

## MÁXIMOS PROMEDIO 8 HORAS MOVILES



## MÁXIMOS 1 HORA



# INSTRUMENTATION AND TECHNIQUES EXHAUST GAS EMISSIONS MEASUREMENT—SAE J254

## SAE Recommended Practice

(Automotive Emissions and Air Pollution Committee approved June 1971)

This SAE Recommended Practice establishes uniform laboratory procedures for the continuous and grab sample measurement of various constituents in the exhaust gas of the gasoline engines installed in passenger and light trucks. The report concentrates on the measurement of the major components in exhaust gas: hydrocarbons (HC), carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), nitric oxide (NO), nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>), and oxygen (O<sub>2</sub>).

This recommended practice includes the following sections:

1. Introduction
2. Definitions and Terminology
3. Sampling and Instrumentation
4. Associated Test Equipment
5. Test Procedures

### Appendix—Other Measurement Technology

**Introduction**—For more than 60 years, the automobile and petroleum industries have been interested in measurements of the combustion products of gasoline-powered engines for passenger cars and light trucks. Considerable data at steady-state operating conditions have been obtained using analytical techniques. This technique is well known and accurate, but is limited to steady-state or "grab" sampling methods. With the development of nondispersive infrared analyzers, it was possible to sample continuously and still maintain accuracy. The purpose of this recommended practice is to provide a means for the analysis of exhaust gas. This procedure has been developed after thorough review and consideration of test techniques in use in laboratories of government and the automobile and petroleum industries. The resulting SAE procedures reflect the extensive experience gained in the use of facilities with both techniques and equipment. It is recognized that the measurement of exhaust gases is in a constant state of development. With this in mind, an appendix to the basic document provides information on more recent developments which appear to have promise but on which experience data are limited. It is intended that the basic document will be subject to periodic review and will be revised as changes in technology and experience warrant. In the meantime, it is felt that the use of this SAE Recommended Practice will assist laboratories in obtaining reproducible and comparable test results without placing undue limitations on the techniques employed.

**Definition and Terminology**—The following definitions apply to the terms used as they are used in this recommended practice.

**1. Analytical Train**—A general term to define the entire sample system used to obtain and analyze a particular constituent in exhaust gas. Typically, this train will include such items as sample piping, particulate filter, cooler, sample pump, analytical instrument, and flow meter.

**2. Calibrating Gas**—A precisely analyzed gas mixture of a given composition used to calibrate the analytical instruments on a periodic basis and in conjunction with similar calibrating gas blends of differing concentration.

**3. Chassis Dynamometer**—A laboratory power absorption unit capable of simulating to a limited degree the road operation of a vehicle. The dynamometer should possess capability to simulate the inertia and road-load power absorbed by a vehicle.

**4. Condenser**—A unit in the analytical train designed to remove a certain amount of the water vapor present in exhaust gas. A suggested condenser consists of 8–10 ft of 0.25 in. OD stainless steel tubing and a water trap.

**5. Cooler**—A device containing sufficient refrigeration to maintain sample temperatures in the analytical train at  $35 \pm 2$  F.

**6. Curb Weight**—Vehicle curb weight means the manufacturer's estimate of the weight of the vehicle in operational status with all standard equipment, including weight of fuel at nominal tank capacity, and the weight of optional equipment computed in accordance with Section 85.09(e) of the Federal Motor Vehicle Safety Regulations, June 4, 1968.

**7. Detector**—That component in an analytical instrument which is sensitive to a particular exhaust gas constituent.

**8. Driver Aid**—An instrument intended to guide the vehicle driver in operating the vehicle in accordance with the specified acceleration, deceleration, and cruise operating modes of a specific driving procedure.

**9. Exhaust Emissions**—Substances emitted to the atmosphere from any point downstream from the exhaust port of a motor vehicle engine.

**10. Filter Cell**—That portion of the NDIR instrument which is filled with a particular gas in order to reduce interference signals.

**11. Flame Ionization (FID)**—An analytical method for determining the concentration of hydrocarbons in exhaust gas.

**2.12 Gross Vehicle Weight (gvw)**—The manufacturer's gross weight rating.

**2.13 Hang-Up**—A term to describe the phenomena whereby high molecular weight hydrocarbons are retained in the sample train, causing an initial low analyzer reading, followed by higher readings in subsequent tests. Excessive hang-up causes errors in the analysis of the hydrocarbons in exhaust gas.

**2.14 Hexane Equivalent Concentration (ppm hexane)**—A term to define the concentration of a propane calibrating gas in terms of its hexane equivalent concentration. For NDIR, hexane equivalent concentration equals propane concentration times 0.52. For FID, hexane equivalent concentration equals propane concentration times 0.50.

**2.15 Inertia Weights**—A series of weights on a chassis dynamometer used to simulate to the nearest 250 or 500 lb the test weight of a vehicle.

**2.16 Light-Duty Vehicle**—A motor vehicle designed for transportation of persons or property on a street or highway and weighing 6000 lb gvw or less.

**2.17 Loaded Vehicle Weight**—The vehicle curb weight of a light-duty vehicle plus 300 lb.

**2.18 Mode**—A particular event (for example, acceleration, deceleration, cruise, or idle) of a test cycle.

**2.19 Nondispersive Infrared (NDIR)**—An analytical method to determine CO, CO<sub>2</sub>, NO, and hydrocarbons in exhaust gas. (See paragraph 2.2.)

**2.20 Normalizing Gas (Span Gas)**—A single calibrating gas blend routinely used in calibration of each analytical instrument.

**2.21 Optical Filter**—That portion of the NDIR instruments which eliminates energy wavelengths where interference signals are obtained.

**2.22 Probe**—A sample line inserted into the exhaust system of a vehicle or engine in such a manner as to obtain an accurate exhaust gas sample.

**2.23 Reference Cell**—That portion of the NDIR instrument which is usually filled with air and provides the reference signal to the detector.

**2.24 Sample Cell**—That portion of the NDIR instrument which contains the sample gas being analyzed.

**2.25 Sampling**—The technique of obtaining an accurate sample of exhaust gas for analysis. Sampling may be grab, continuous, or proportional.

**2.26 Sampling, Grab**—A technique for collecting an "instantaneous" sample of exhaust gas.

**2.27 Sampling, Dynamic or Continuous**—A technique in which a portion of the exhaust is continuously withdrawn and pumped through an analytical train.

**2.28 Sampling, Proportional**—A method of obtaining a composite sample of exhaust gas representative of all driving modes in a test cycle. The sample, when analyzed, will represent the average molar concentration of constituent properly weighted for mass flow rates.

**2.28.1 SAMPLING, PROPORTIONAL, VARIABLE RATE**—A technique to obtain an exhaust sample which takes a specific and constant fraction (for example,  $1/1000$ ) of the total exhaust stream at each mode so that when the aggregate sample is analyzed for its molar constituents, it is weighted in proportion to the average flow rate through the cycle (see Appendix).

**2.28.2 SAMPLING, PROPORTIONAL, CONSTANT VOLUME (VARIABLE DILUTION)**—A technique for sampling exhaust gas in which a sampling pump draws a constant volume flow rate (for example, 300 scfm). This flow is provided for both the exhaust of a vehicle and from dilution air. The technique allows for monitoring of continuous emissions on a mass basis and also (with the addition of a second pump) provides an aggregate total mass sample from a vehicle operated through an entire test cycle.

**2.29 Smoke**—Solid or liquid matter in exhaust emissions which obscures the transmission of light.

**2.30 Span Gas**—See paragraph 2.20.

**2.31 Test Cycle**—A sequence of an engine or vehicle operating modes usually designed to simulate road usage of the vehicle.

**2.32 NDUV**—A technique to measure NO<sub>2</sub> concentration in exhaust gas. (See paragraph 3.4.)

### 3. Analytical Test Equipment

**3.1 Sampling Systems—Continuous (Undiluted Exhaust Gas)**—Figure 1 shows a typical sampling system for the continuous measurement of exhaust gas products emitted from the tail pipe of a vehicle. Such a system generally consists of sample probes, sample lines, coolers, particulate filters, positive displacement pumps, bypass flow regulators and flow meters, and desiccant traps.

**3.1.1 SAMPLE PROBE**—The sample probe is the inlet to the sample system.

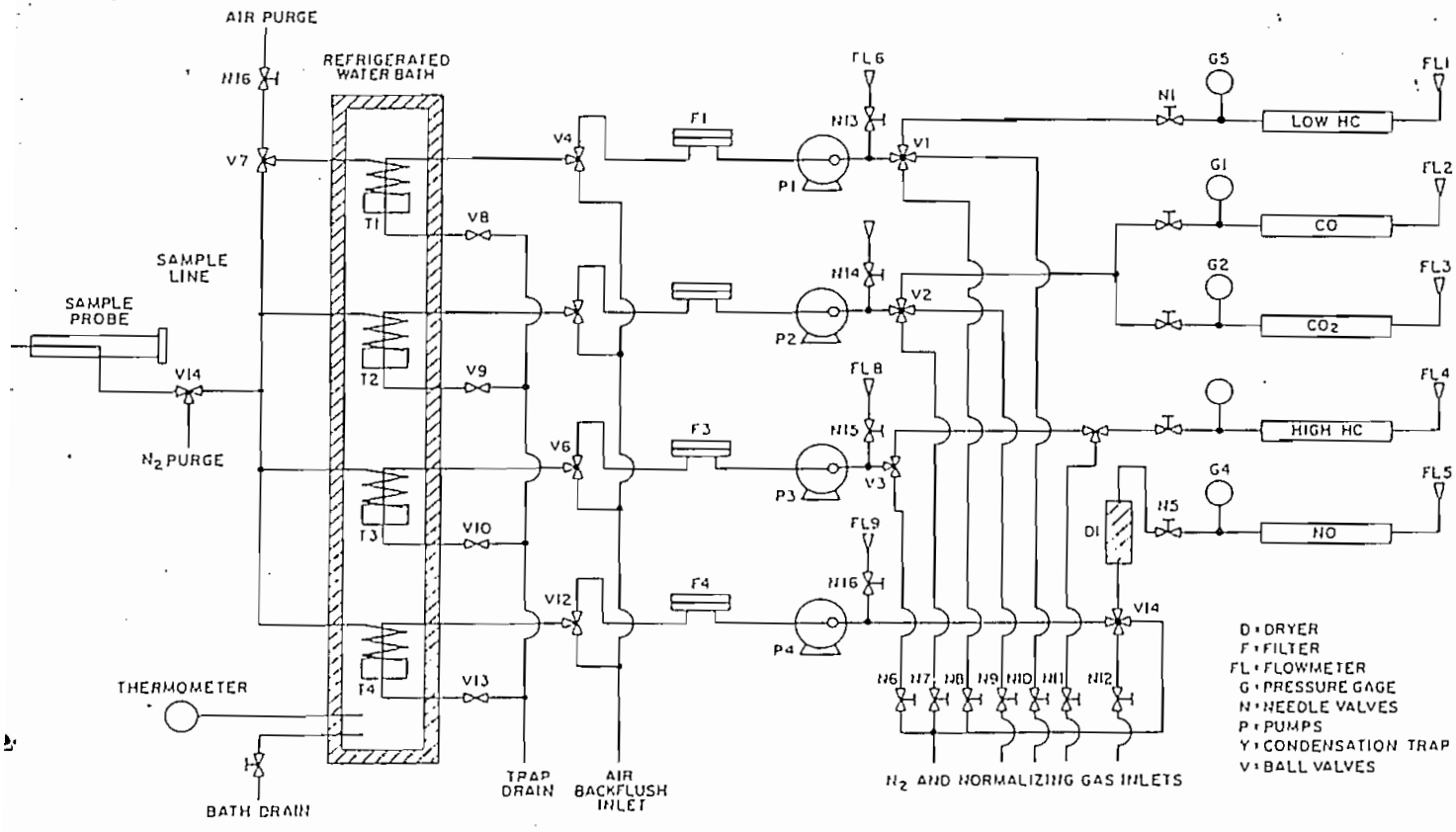


FIG. 1—FLOW SCHEMATIC OF EXHAUST GAS ANALYSIS SYSTEM

It is recommended that this probe be constructed of stainless steel tubing of 0.25 in. OD; it is usually part of a fixture which adapts to the end of the tail pipe of the vehicle. To minimize induction of ambient air, the end of the probe is extended into the tail pipe at least 12-18 in. (if possible). The most desirable probe location is parallel to the exhaust flow, facing upstream. The sample probe fixture may slip over the outside of the tail pipe and be used with either a flexible adaptor (silicone rubber) or thermosetting-fiberglass backed adhesive tape. This arrangement provides a seal which does not allow induction of the exhaust gas with ambient air. Design of the probe fixture would also allow for unrestricted exit of the remaining exhaust gas (that which is not inducted into the probe) to either an exhausting system or another test apparatus such as a bag collection system. (See paragraph 4.3.2.) A valve should be located at or near the tail pipe fixture to allow purging of the sample probe and the rest of the analysis system with prepurified dry nitrogen gas or clean, dry air. The test probe for engine dynamometer testing should be located to approximate the sampling location in an actual exhaust system of the vehicle.

In work with single-cylinder engines, or with the exhaust of a single cylinder of a multicylinder engine operating over a transient duty cycle, the proper probe location is difficult to define because of a varying degree of stratification of the concentrations of the various exhaust products which exists along the length of the exhaust pipe.

**3.1.2 SAMPLE LINE**—The sample line carries the exhaust gas inducted into the sample probe to the inlet of the condensers (usually located close to the analysis system). This line is recommended to be no smaller than 0.25 in. OD and should be made of stainless steel or Teflon (or equivalent). Teflon tubing of 0.25 in. ID, with a flexible outside protective covering, is recommended because it practically eliminates the hang-up from this part of the sampling system, and can be slipped over 0.25 in. OD stainless steel tubing. The length of this sample line should be kept to a minimum, since its length is directly related to the delay time of the entire system; in many cases, it will be found to be responsible for the major portion of the delay time. Excessive delay times usually result when the line from the sample probe to the cooler is too long, or the sample flow rate is too low. Room restrictions may prohibit the use of short sample lines; therefore, other means such as increasing the sample flow rate, using more than one sample line with an increased flow rate, or simply determining the extent of the delay and accounting for it when processing the data, may have to be used. All tubes connecting the various components of the

sampling system should be either stainless steel or Teflon and should also be as short as possible.

**3.1.3 COOLER**—The cooler condenses and removes the water contained in the exhaust gas sample. This is required because many analyzers have a strong response to water vapor, and also to prevent condensation of water in the analyzers.

There are a number of acceptable cooler configurations. Two popular types which have proved effective are the ice bath cooler and the refrigerated water bath. Both of these utilize a cooling coil of 0.25 in. OD (uncoiled length is approximately 10 ft) which empties into a trap with a volume not to exceed 4.0-5.0 in.<sup>3</sup> for each leg of the analysis system. (See Fig. 1.) A drain and toggle valve are provided to remove the water collected in each trap. The cooling coils are usually clustered in a common insulated chest which can be filled with ice and water or a water glycol solution which can be kept near 35 F with an electrically powered refrigeration system. Keeping the coolant slightly above 32 F eliminates water freezing in the trap. A mixer in the coolant helps to maintain a constant temperature.

**3.1.4 PARTICULATE FILTER**—Borosilicate glass fiber filters approximately 7 cm in diameter with an appropriate holding fixture of low internal volume should be used (one in each leg of the sample system, see Fig. 1) to remove any particulate matter which may be present. These filters also tend to stop water droplets which may have passed the cooler. Contaminated filters can result in excessive hang-up and should be changed frequently (as often as each test, and if experience indicates the need, even during a test).

**3.1.5 PUMPS**—A positive displacement pump (typically 45 cfm with pump "inlet" and outlet at atmospheric pressure) should be used in each leg of the analysis system to pull the sample from the probe to the pump and then to push the sample through the analyzer. It is recommended that a diaphragm type of pump with a Teflon diaphragm and stainless steel chamber be used to minimize hang-up. Carbon vane or piston pumps which may introduce a hydrocarbon lubricant into the sample gas are to be avoided. The pump should supply a nonvarying flow rate. The pump and motor should be mounted to eliminate the transmission of mechanical vibrations to the connecting sample lines and to the analyzers. An effective means of accomplishing this is to use short flexible tubing connectors to carry the sample gas to and from the pump and to isolate the pump and motor with shock mounts. Small mechanical vibration of the analyzers may affect their output.

**3.1.6 FLOW CONTROL AND MEASUREMENT**—The pump for each analyzer

be allowed to pull all the sample it can through the sample system. Immediately following each pump, a bypass line should allow sample gas to be pumped to a waste system with the remaining 10 cfm proceeding through the analyzer. The bypass flow is regulated by an adjustable needle valve (stainless steel) and monitored by a rotameter type flow meter with at least 10 cfm capacity using a stainless steel or inert material float.

Sample flow through the analyzers is regulated by another finely adjustable stainless steel needle valve and is monitored with a 0-20 cfm rotameter with a stainless steel or inert material float. Shown also in Fig. 1 are pressure gauges (in.  $H_2O$ ) for monitoring analyzer cell pressure. The sample pressure in the analyzer should be maintained constant (10 in.  $H_2O$  approximately), since the analyzer output is proportional to the amount of the component in the sample cell. The amount in the cell is proportional to the pressure as well as the concentration. The sample pressure in the analyzer is also a function of the sample flow rate. Either analyzer sample pressure or sample flow rate can be monitored, and should be adjusted to the same value during test as was used to calibrate the analyzer.

The flow rates above were arrived at by attempting to decrease response time for a particular sample system. If the system is different from the one shown in Fig. 1, it is important that optimum flow rates be adjusted to obtain minimum response time.

3.1.7 DESICCATOR—A chemical should be used for additional drying of the sample, because of the very strong response of nitric oxide to small amounts of water vapor in the sample. (See Fig. 1.) A general-purpose moisture absorbent such as phosphorus pentoxide (for example, Aquasorb) can be used in the desiccator. Use at least 10 g for each desiccator application and replace as necessary (after treatment of approximately 2 ft<sup>3</sup> of cool exhaust gas). Precautions should be taken, as phosphorus pentoxide is harmful if allowed to contact eyes or skin.

3.2 Sampling Systems—Total Bags—Total sampling means collecting all the exhaust in an adequately sized bag of Tedlar or other satisfactory material. After collection, the composite bag of exhaust is analyzed by use of the instrument as described in paragraphs 3.3-3.6. Chemical reactions between exhaust components will occur in the bag sample; therefore, analysis should be done as promptly as possible.

The advantages of the total sampling method are: the analytical results are obtained quickly with a minimum of data reduction; a composite exhaust sample is available for additional chemical tests; and if the gas volume is measured, mass results can be obtained directly. The disadvantages of the total sampling method are: large space requirements; the chemical reactions mentioned above may preclude meaningful detailed analytical studies of the exhaust; the analytical system is relatively immobile; and data are not produced in individual modes.

3.3 Nondispersive Infrared Analyzers—NDIR instrumentation can be used to determine concentrations of: NO, CO, CO<sub>2</sub>, and HC in exhaust gas.

3.3.1 THEORY AND CALIBRATION—Operation of the NDIR analyzers is based on the differential absorption of infrared energy, using a double beam infrared source, a balanced optical system, and a low pressure Luft detector charged with the specific gas of interest (for example, carbon monoxide).

Two infrared sources are used, one for the sample energy beam, the other for reference energy beam. The beams are continuously and momentarily interrupted by a device called a "chopper." In the uninterrupted condition (A of Fig. 2), each beam simultaneously passes through the associated cell and into the detector. The sample cell is a metal tube which receives and exhausts a continuous stream of sample gas. The reference cell is a sealed tube filled with a reference gas. This gas is selected for negligible absorption of infrared energy of those wavelengths absorbed by the sample component of interest.

The detector consists of two sealed chambers separated by a flexible metal diaphragm. Each chamber has an infrared-transmitting window to permit entry of the corresponding beam. Both chambers are filled, to the same partial pressure, with vapor of the component of interest (for example, CO). The detector responds only to that portion of net difference in radiant energy due to the presence of the measured component (for example, CO).

In operation, the presence of the infrared-absorbing component of interest in the sample stream causes a difference in energy levels between the sample and reference sides of the system. This differential increment undergoes the following sequence of transformations:

(a) Radiant Energy—In the sample cell, part of the original energy of the sample beam is absorbed by the component of interest. In the reference cell, however, absorption of energy from the reference beam is negligible.

(b) Temperature—Inside the detector, each beam heats the gas in the corresponding chamber. Gas in the reference chamber is heated more, however, since there is no loss of energy in the reference beam.

(c) Pressure—The higher temperature of the gas in the reference chamber raises the pressure of this compartment above that of the sample chamber.

(d) Mechanical Energy—Gas pressure in the reference chamber distends the diaphragm toward the sample chamber. The energy increment is thus expended in flexing the diaphragm.

(e) Capacitance—The diaphragm and the adjacent stationary metal button constitute a two-plate variable capacitor. Distension of the diaphragm away from the button decreases the capacitance. The changing capacitance is a part of an electronic amplifying circuit which is capable of electronically recording the capacitance and, hence, the absolute concentration of component analyzed.

Sometimes a gas filter cell or optical filter is located in the sample beam to eliminate interfering absorption from extraneous components. The filter cell is filled with the interfering components.

Calibration of the instruments is accomplished by the introduction of appropriate calibrating gases of known concentration at the specified sampling flow rates. Using such a procedure, construction of a calibration curve, such as shown in Figs. 3 and 4, is possible. In the following paragraphs, the instrument specifications for analyses of specific compounds are detailed.

### 3.3.2 HYDROCARBON (HC)

3.3.2.1 Cell Length—Range—The cell length recommended for use with automotive exhaust gas at the cruise and accelerating modes of a vehicle is a 5 1/4 in. cell having a full-scale calibration of 1000 ppm hexane (0.1 mol % C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>). For more accurate measurements of lower concentration, the use of a longer sample cell (13 1/2 in.) is recommended. Analyses of a vehicle's HC

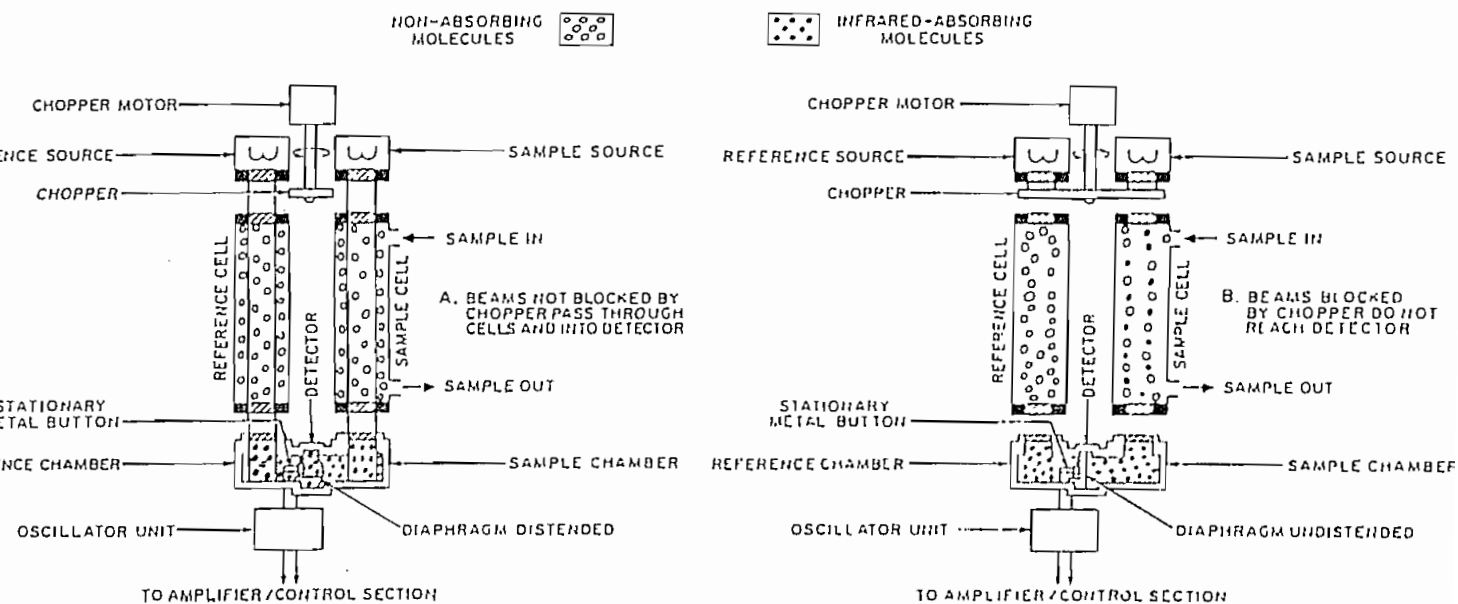


FIG. 2—LUFT DETECTOR



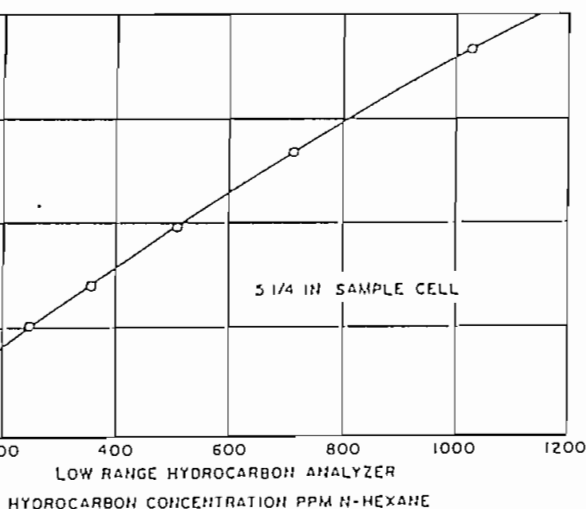
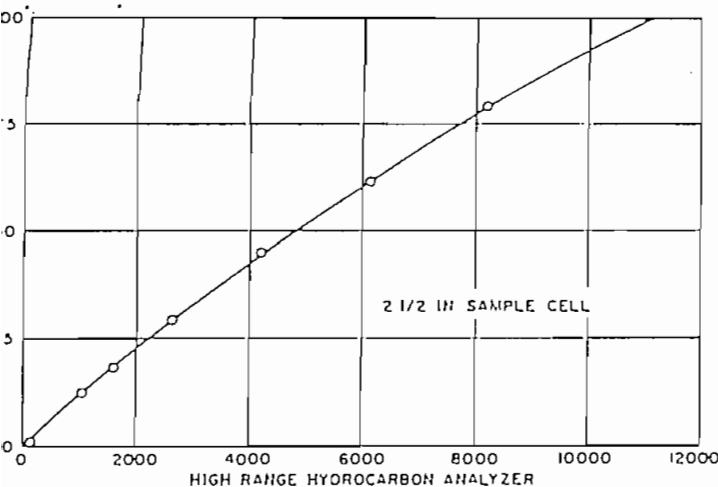


FIG. 3—TYPICAL HYDROCARBON CALIBRATION CURVES

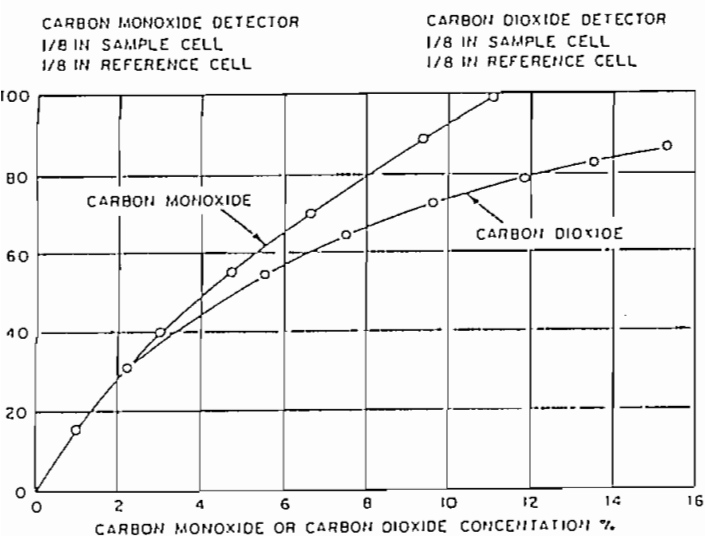


FIG. 4—TYPICAL CARBON MONOXIDE AND CARBON DIOXIDE CALIBRATION CURVES

emissions during deceleration modes is best accomplished using a  $1/4$  or  $2/2$  in. cell with a typical full-scale deflection of 4000 ppm for 1968 and later vehicles and 10,000 ppm for pre-1968 vehicles. The usual HC sample system would consist of a high-range and a low-range analyzer, as shown in Fig. 1. Typical calibration curves for high- and low-range HC analyzers are shown in Fig. 3.

**3.3.2.2 Response—Interferences**—The HC-NDIR instruments have excellent response characteristics to the saturated aliphatic hydrocarbons when the Luft detector is sensitized with n-hexane gas. Unsaturated aliphatic and aromatic hydrocarbons produce a lower response on a carbon atom basis than the saturated aliphatics. Typical exhaust components that can cause an interfering or false signal from a HC-NDIR analyzer are water vapor and  $CO_2$ . For this reason, attention must be given to adequate removal of the water vapor from the exhaust gas and to changing of the gas filter with  $CO_2$ .

**Note:** It is also important that all NDIR instruments be equipped with the appropriate gas filter cells or optical filters for the compounds being analyzed. This is important to minimize further interferences from false signals. HC instruments use quartz optics in the energy path, CO instruments use sapphire optics. Specific instrument manufacturers can assist in the selection of proper optics for each component being analyzed.

### 3.3.3 CARBON MONOXIDE

**3.3.3.1 Cell Length—Range**—The cell length recommended for analyses of automotive exhaust gas is  $1/8$  in. for a full-scale calibration of 10 mol % in nitrogen. A typical calibration curve is shown in Fig. 4.

**3.3.3.2 Interference**—Unless analysis is being made of very low molar concentrations of CO (that is, 0.1%), the interference of  $CO_2$  is negligible. The same is true for water.

### 3.3.4 CARBON DIOXIDE

**3.3.4.1 Cell Length—Range**—The cell length recommended for automotive exhaust analysis is  $1/8$  in. for a full-scale calibration of 15 mol %. A typical calibration curve is shown in Fig. 4.

**3.3.4.2 Interference**—No interference exists when a "dry" sample, as defined in paragraph 3.1, is provided.

### 3.3.5 NITRIC OXIDE

**3.3.5.1 Cell Length—Range**—The cell length recommended for automotive exhaust analysis is 10 in. for a full-scale calibration equivalent to 4000 ppm.

**3.3.5.2 Interference**—Several compounds present in automotive exhaust cause interference or "false" signals from an NO-NDIR detector. The most important interference gas is water vapor.  $CO_2$  and CO cause lesser interferences. Special precautions, as noted in paragraph 3.1 for complete removal of all water vapor, must be followed. Optical filters or gaseous filter cells for removal of other interfering gases, such as ethylene and acetylene, are also required. Checks for interfering gases vary with the specific instrument manufacturer.

**3.4 Nondispersive Ultraviolet Analyzers for Nitrogen Dioxide ( $NO_2$ )**—Nitrogen dioxide is present in the untreated exhaust gas at the tail pipe of a spark-ignited engine vehicle only in very low concentrations (less than 10 ppm). Analyses for  $NO_2$  may be required only occasionally, since the nitric oxide concentration is usually several orders of magnitude higher than the  $NO_2$ .

An ultraviolet instrument is capable of providing an estimate of the  $NO_2$  concentration in exhaust gas. However, since  $NO_2$  is very soluble in water, the water in the exhaust gas must not be allowed to condense. The  $NO_2$  sample train must be heated to about 175 F.

Exhaust gas samples (such as those collected in bags), which have been allowed to stand for a few minutes or longer, will contain larger concentrations of  $NO_2$  than tail pipe exhaust samples which were analyzed immediately, because upon standing the NO oxidizes to  $NO_2$ .

**3.4.1 THEORY**—The principle of operation of the ultraviolet analyzers is based on the differential absorption of light energy at 4000 Å where  $NO_2$  has a strong absorption band. Light is supplied by a tungsten filament lamp with calibration accomplished with known low concentrations of  $NO_2$  in stainless steel cylinders. Extreme caution must be used in achieving a clean sample system for calibration and exhaust analysis.

**3.4.2 INTERFERENCE**—No response is obtained from an  $NO_2$  ultraviolet analyzer with a 13.5 in. cell for the following gases:

- 12%  $CO_2$ , 4.5% CO
- 567 ppm hexane
- 1000 ppm propane
- Water saturated  $N_2$

There is a slight interference from NO. Approximately 1 ppm  $NO_2$  is indicated for each 130 ppm of NO.

**3.5 Flame Ionization Detectors—Hydrocarbons**—The FID instrument is replacing the HC-NDIR instruments previously discussed, because the FID responds more uniformly to the variety of hydrocarbons found in exhaust gas.

**3.5.1 THEORY**—The Flame Ionization Detector (FID) makes use of the principle that very few ions are present in the flame produced by burning pure hydrogen or hydrogen diluted with an inert gas. However, the introduction of

tees of hydrocarbons into such a flame produces a large amount of ion. The sensing unit of the FID is the burner (Fig. 5), principal components of which are the burner jet and the collector. A small stream of hydrogen or hydrogen diluted with an inert gas is premixed with the sample and burned at the jet in a diffusion flame with air. The jet is connected to the positive terminal of a d-c voltage source, the collector being to the negative terminal. The charged particles generated in the flame are collected at the collector. Electrons go to the burner jet, positive ions to the collector. Small current flows between the two. As the amount of hydrocarbons in the flame increases, the current increases. Through the use of associated electronics, the current is amplified and used to drive a meter and/or recorder. Therefore, the output of the analyzer is directly dependent upon the amount of hydrocarbons in the flame, the analyzer is very critical to variations in sample flow rate. Therefore, stringent control of sample flow rate is mandatory.

**INTERFERENCES**—Conclusions of several investigators indicate that oxygen in the sample interferes with the FID hydrocarbon measurement. There is no consistent pattern for the oxygen interference between instruments of different design or for the same instrument under different operating conditions of fuel, sample, and air flow rates. Under some conditions oxygen increases the indicated hydrocarbon content; while under other conditions, indicated hydrocarbon content is decreased. In addition, it is noted that no significant oxygen interference will manifest itself. Therefore, it is imperative that the oxygen interference be determined for each individual instrument, especially when used for analyses of samples containing considerable amounts of oxygen (5% or more). Selection of a calibrating and zero gas of known oxygen content approximating that of the sample to be analyzed will minimize oxygen interference.

**CONTINUOUS OPERATION**—Continuous sampling is possible with the FID if certain operating parameters are adhered to strictly. The sampling volume must be kept to a minimum with as short a sampling line as possible to minimize sample transit time. In addition, excess water vapor must be removed from the sample to prevent slugs of water blocking the jet, and a water filter must also be used. An example of an FID burner is shown in Fig. 5. The sample to the burner jet is supplied by a short section of stainless steel capillary tubing of approximately 0.008-0.010 in. ID, which has been inserted into the main sampling tube so that one end of the capillary is located at the center of the tube. The sample is supplied to the main sampling tube by a system consisting of a low volume water condenser and trap, a water filter, and a high volume pump with inert diaphragm. Sample flow through the burner capillary is controlled by the pressure in the main sampling tube and is independent of volume flow through the main sampling tube. Back pressure regulator controls the pressure in the system. Response time can be reduced by increasing the bypass flow rate.

**CALIBRATION CONSIDERATIONS**—FID, under normal conditions, re-

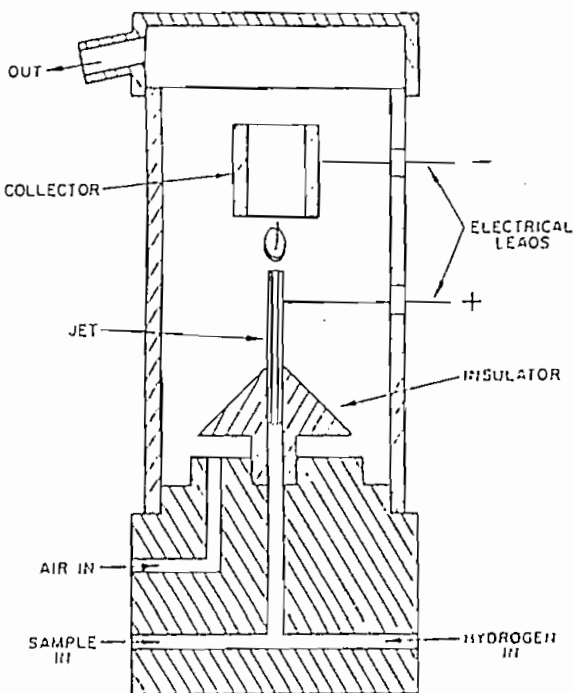


FIG. 5—TYPICAL BURNER OF FLAME IONIZATION DETECTOR

quires only a one-point, one-component calibration, since response is linear with the carbon content of the hydrocarbon in the sample being admitted to the burner. However, care must be exercised in selecting the sample flow rate to the burner, since, at some maximum flow rate, the flow versus response relationship becomes nonlinear because of saturation of the electronics. The maximum permissible sample flow rate for linear response will be different for instruments of different design.

In addition, care must be exercised in selecting the fuel type as well as optimizing the sample, fuel, and air flow rates to ensure that relative response, on a carbon basis, for different hydrocarbon types is relatively constant and that oxygen interference is minimized. Studies have shown that the fuel used should include a diluent, preferably helium, at a mixture ratio of 60% diluent and 40%  $H_2$ . This fuel mixture minimizes the oxygen interference and improves the uniformity of response for different hydrocarbons when compared with a fuel of pure hydrogen or one of 60%  $N_2$  and 40%  $H_2$ . To minimize oxygen interference, sample rate should be maintained at the lowest rate consistent with the signal level required.

Air rate should be set at a point consistent with required signal level and flame stability.

Fuel rate should be set to result in the maximum signal level. At this point the signal is relatively insensitive to small variations in the fuel rate.

As a guide in setting flow rates, two investigators have shown the optimum flow conditions for at least three commercially available instruments to be as follows:

- Sample rate—3-5 mil/min
- Fuel rate—Optimized for maximum response
- Air rate—8 times hydrogen rate

### 3.6 Oxygen Analyzers

#### 3.6.1 POLAROGRAPHIC ANALYZERS

**3.6.1.1 Theory**—Polarographic oxygen analyzers operate on the principle that different gases are reduced at different applied voltage potentials. Of the gases normally found in exhaust gas, oxygen is reduced at the lowest potential and can, therefore, be readily measured. Using this principle, the instrument actually measures the partial pressure of oxygen in the sample, but for fixed operating conditions, it can be calibrated in other units such as percent oxygen by volume.

The analyzer consists of two basic units, a sensor and an amplifier. The sensor (Fig. 6), which detects oxygen content, normally consists of a gold cathode insulated from a silver anode between which a potential of approximately 0.8 V is applied. The anode is electrically connected to the cathode by a potassium chloride gel. The entire anode-cathode assembly is separated from the sample by a Teflon gas-permeable membrane.

**3.6.1.2 Interferences**—There are other gases, such as  $SO_2$ ,  $Cl_2$ ,  $Br_2$ ,  $I_2$ , and  $NO$ , which will reduce at 0.8 V. Fortunately, none of these gases are found in exhaust gas in sufficient concentrations to give a significant interference.

**3.6.1.3 Continuous Operation**—In operation, the sensor is placed in the sample stream and oxygen diffuses through the Teflon membrane and is reduced, by the 0.8 V potential, at the cathode. This reduction causes a current flow which is proportional to the partial pressure of oxygen in the sample.

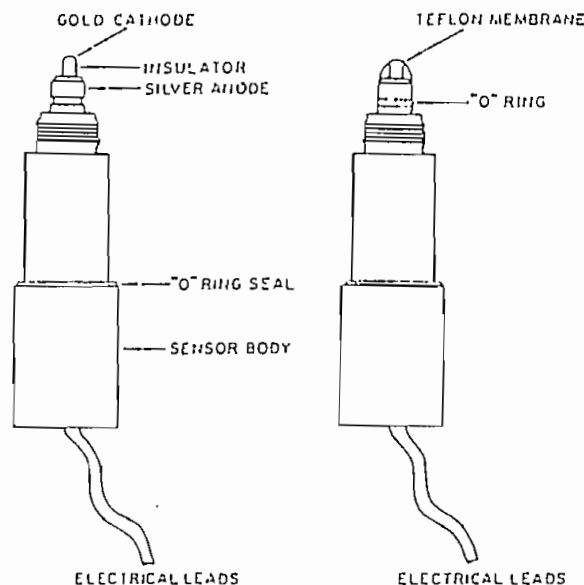


FIG. 6—POLAROGRAPHIC OXYGEN ANALYZER SENSOR

n example of a sensor installed in a gas stream is shown in Fig. 7. The design for the sensor was designed for low dead volume to reduce response time for the instrument. The sensor can be incorporated into the sampling system of other exhaust analysis instruments as shown in Fig. 7, provided close control of system pressure is maintained. Since the instrument measures only partial pressure of oxygen, it is sensitive to changes in the total pressure of the sample. For example, if the total pressure of the sample is doubled, the partial pressure of the oxygen will double and, as a result, the output of the instrument doubles while the actual percent oxygen in the sample remains the same. Because of this characteristic, direct readings in percent oxygen are valid only if the gas mixture is analyzed under the same total pressure as when calibrated.

**3.6.1.4 Calibration Considerations**—Since sensor response is linear with oxygen partial pressure in the sample, only a one-point calibration is required. Span settings can normally be made using room air. However, if the room air is not relatively clean, blends of oxygen in  $N_2$  should be used. The instrument is normally zeroed using prepurified nitrogen.

### 3.2 PARAMAGNETIC ANALYZERS

**3.6.2.1 Theory**—Paramagnetic oxygen analyzers measure the oxygen partial pressure of a gas sample by measuring its magnetic susceptibility. This property of the sample is largely due to the oxygen in it. This type of measurement is possible because oxygen is strongly paramagnetic while other common gases, with the exception of  $NO$  and  $NO_2$ , are weakly diamagnetic. The magnetic susceptibility of oxygen can be thought of as a measure of the ability of an oxygen molecule to become a temporary magnet when placed in a magnetic field.

The susceptibility measurement is made in the analysis cell where a dumbbell-shaped test body mounted on a quartz fiber is suspended in a nonuniform magnetic field (Fig. 8). As the partial pressure of oxygen in the gas sample surrounding the test body changes, the body will rotate. An optical system which senses this rotation causes a voltage to be applied to the test body to maintain it in a null position. This voltage is the output voltage of the amplifier circuit, and is the voltage required to hold the test body stationary against the forces exerted by the magnetic field.

**3.6.2.2 Interferences**—Although the instrument response caused by most gases other than oxygen is comparatively slight, it is not in all cases negligible, as can be seen in Table 1. Therefore, in making oxygen measurements in exhaust gas, correction should be made for the interfering compounds such as  $CO$ ,  $CO_2$ , and  $NO$ .

**3.6.2.3 Operation**—This instrument, because it depends on the physical movement of a relatively large mass, does not have the speed of response necessary to measure dynamic changes in oxygen content such as may occur

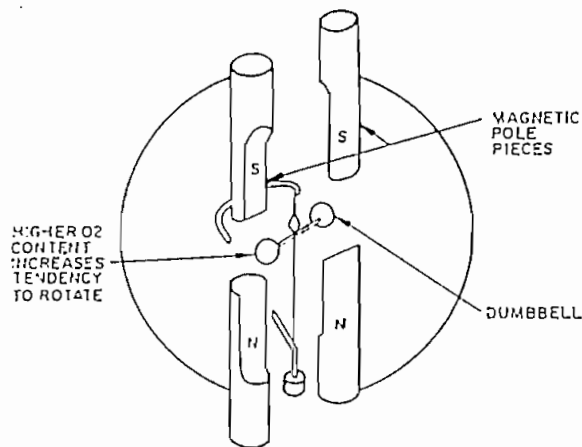


FIG. 8—PARAMAGNETIC ANALYZER TEST BODY

when analyzing exhaust gas. Therefore, it is not recommended for use during cyclic operation. However, it can be used to measure oxygen either at steady-state conditions or in collected samples of exhaust gas. Since the analyzer measures the partial pressure of oxygen, an instrument calibrated in percent oxygen must be operated at the same system pressure at which it is calibrated to obtain reliable analytical results.

**3.6.2.4 Calibration Consideration**—Instrument response is linear with oxygen partial pressure in the sample; therefore, only a one-point calibration is required. Span settings can normally be made on room air. However, if the room air is not relatively clean, blends of oxygen in  $N_2$  should be used. The instrument is normally zeroed on prepurified nitrogen.

### 4. Associated Test Equipment

**4.1 Total Bag Sampling**—The bag sampling procedure collects all of the exhaust gas from a vehicle during any driving cycle on a chassis dynamometer. The exhaust volume can be measured, as well as the mass of the exhaust products emitted. Analysis of exhaust emissions by bag sampling differs from continuous analysis in three important respects. First, for bag samples, it is impossible to weight differently the exhaust from different modes of a test; that is only a closed, self-weighting cycle can be analyzed. Second, chemical

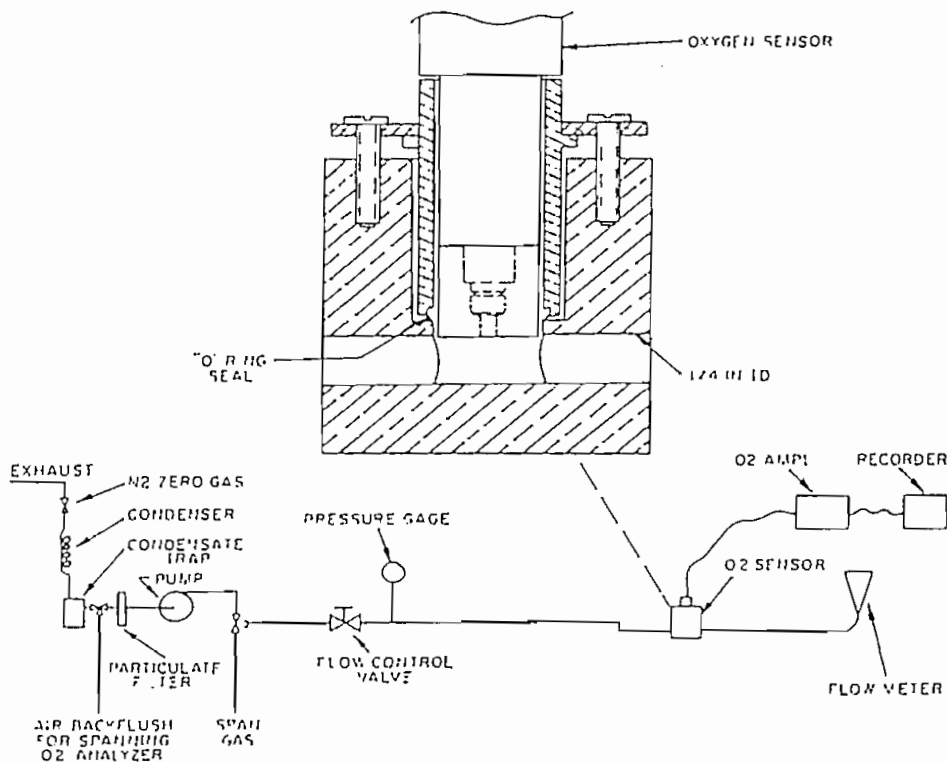


FIG. 7—POLAROGRAPHIC OXYGEN ANALYZER INSTALLATION

TABLE 1—OXYGEN EQUIVALENTS OF COMMON GASES

Gas Concentration	Equivalent Percent of Oxygen	Gas 100% Concentration	Equivalent Percent of Oxygen
Ac, C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	-0.612	Hydrogen bromide, HBr	-0.968
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	-0.744	Hydrogen chloride, HCl	-0.650
Ac, NH <sub>3</sub>	-0.479	Hydrogen fluoride, HF	-0.253
A	-0.569	Hydrogen iodide, HI	-1.403
Ac, Br <sub>2</sub>	-1.83	Hydrogen sulfide, H <sub>2</sub> S	-0.731
Iodine, C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	-1.047	Krypton, Kr	-0.853
Iodine, C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	-0.944	Methane, CH <sub>4</sub>	-0.512
Ac, C <sub>2</sub> H <sub>10</sub>	-1.481	Neon, Ne	-0.205
Ac, C <sub>2</sub> H <sub>12</sub>	-1.485	Nitric oxide, NO	+44.2
Ac, C <sub>2</sub> H <sub>14</sub>	-1.205	Nitrogen, N <sub>2</sub>	-0.558
Ac, C <sub>2</sub> H <sub>16</sub>	-1.252	Nitrogen dioxide, NO <sub>2</sub>	+28.7
Ac, C <sub>2</sub> H <sub>18</sub>	-1.201	Nitrous oxide, N <sub>2</sub> O	-0.56
Ac, C <sub>2</sub> H <sub>20</sub>	-1.274	n-octane, C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	-2.84
Ac, C <sub>2</sub> H <sub>22</sub>	-0.623	Oxygen, O <sub>2</sub>	100
Ac, C <sub>2</sub> H <sub>24</sub>	-0.354	n-pentane, C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	-1.81
Ac, C <sub>2</sub> H <sub>26</sub>	-0.789	iso-pentane, C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	-1.853
Ac, C <sub>2</sub> H <sub>28</sub>	-0.553	neo-pentane, C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	-1.853
Ac, C <sub>2</sub> H <sub>30</sub>	-0.959	Propane, C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	-1.135
Ac, C <sub>2</sub> H <sub>32</sub>	-2.508	Propylene, C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	-0.903
Ac, C <sub>2</sub> H <sub>34</sub>	-2.173	Water, H <sub>2</sub> O	-0.381
Ac, C <sub>2</sub> H <sub>36</sub>	-1.915	Xenon, Xe	-1.34
Ac, C <sub>2</sub> H <sub>38</sub>	-0.117		

$$\text{Interference} = \frac{\text{Equivalent \% O}_2 \times \text{Observed concentration}}{100}$$

can occur in the bag, the most obvious of which is the oxidation NO indicated by the reddish-brown color which appears in the bag a few after the exhaust gas has been collected. Third, some compounds, NO<sub>2</sub>, may be lost by diffusion through the bag. Bag contents should be analyzed within a few minutes of test completion to minimize the effects of chemical reaction and diffusion.

**BAG SAMPLING EQUIPMENT**—Fig. 9 is a schematic diagram of a typical bag sampling system. Exhaust gas passes from the tail pipe of the test vehicle through a stainless steel flexible hose to a stainless steel exhaust cooler. The cooler is cooled to about 55 F, and condensed water is removed in the trap at the bottom of the cooler. Gas then passes through suitable valving into a distribution tube, and then into a Tedlar, or equivalent, bag suspended from the ceiling. Two bags are provided in the system shown in order that hot and cold cycles can be bagged and weighted separately. If desired, the system can be simplified and only one bag used. In this case, the weighing for hot and cold cycles is impossible. A sample can be drawn from the bag through a sampling probe. A centrifugal, vacuum-type blower is used to empty the bags through a large gas meter. If desired, compressed air from the building supply can be used for flushing the bags between tests, or another blower can be used to blow room air into the bags. A leak-tight connection to the vehicle tail pipe is necessary. A piece of heat-resistant hose can be clamped to the tail pipe. Pneumatic or electric control valves are suggested; so the valves can be controlled from a control panel. The valves should be of stainless steel to resist the heat. The exhaust cooler removes moisture from the gas and prevents condensation

in the bags. Condensation in the bag would result in NO<sub>2</sub> loss. The bag should be made of inert plastic fiber such as Tedlar or equivalent.

**4.1.2 SAMPLE HANDLING**—The bag sample should be thoroughly mixed to minimize stratification. A small blower can be mounted in the bag to accomplish this. However, the bag must be cut, and the possibility of leakage is increased. Carefully pushing and releasing the bag walls several times after collection of the sample tends to give satisfactory mixing. Practically, it is impossible to completely evacuate the bag after a test. Therefore, it is desirable to purge the bag after each test by filling it with room air and evacuating it to minimize carry-over from the previous test.

**4.1.3 OPERATION**—The bag should be filled with air to flush out any residual exhaust gas from the previous test, and then emptied. Exhaust is then directed into the bag for the desired test period. The bag contents are mixed, and then analyzed for concentrations of the exhaust products immediately after the test. Then the bag is emptied through the gas meter and the exhaust volume is measured, as well as the barometer pressure and ambient temperature.

Periodically (experience will determine the frequency), condensate will have to be drained from the bottom of the exhaust gas cooler. The leakage in or out of the bag system should be checked periodically and kept to a minimum (5% or less of average exhaust flow is acceptable). If the leakage rate is measured and recorded when the system is known to be in good condition, periodic leakage measurements can be compared to the baseline leakage value to determine the system's condition at any given time. Leakage rate can be measured by operating the blower of Fig. 9 to evacuate the bags. When the bags are empty, any system leakage will be indicated by continued movement of the gas meter dial. When measuring the gas volume contained in the bags, it is necessary to read the gas meter after the bags have been emptied. The time at which the bags are empty can be difficult to establish, because the system leakage will never allow the gas meter to stop completely. A water manometer connected to measure the differential pressure between the bag interior and atmosphere may be used to establish the "end point" of the bag emptying operation. A sudden increase of differential pressure when the bag is being emptied can be used as the "end point." This procedure has the virtue of being repeatable. If a sample is withdrawn from the bag for analysis, the volume of this sample should be added to the volume of the bag sample to obtain the total volume of exhaust gas in the bag which may be used to calculate mass emissions.

## 4.2 Data Analysis and Reduction

### 4.2.1 AUTOMATIC PROCESSING

**4.2.1.1 Integration Techniques**—Average concentrations must be determined for the individual modes of the test cycle. When mode concentrations are determined manually, the average height of the curve on the analyzer strip chart is considered proportional to the average concentration; that is, the analyzer calibration curve is assumed to be linear. The average chart height may be determined electronically by integrating the area under the curve and dividing the area by the integration time. One technique for doing this is shown in Fig. 10. The analyzer output is converted to a frequency which is proportional to the analyzer output. By counting the frequency pulses, integration of the area under the curve is performed. If the number of counts is divided by the integration time period, the average frequency is obtained. From the average frequency, the average voltage or chart height is obtained.

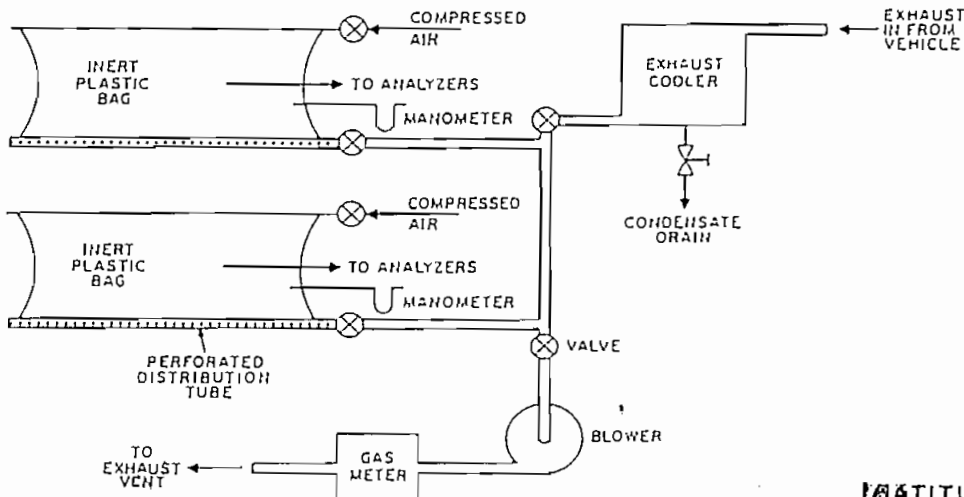


FIG. 9—SCHEMATIC OF TWO-BAG SAMPLING SYSTEM

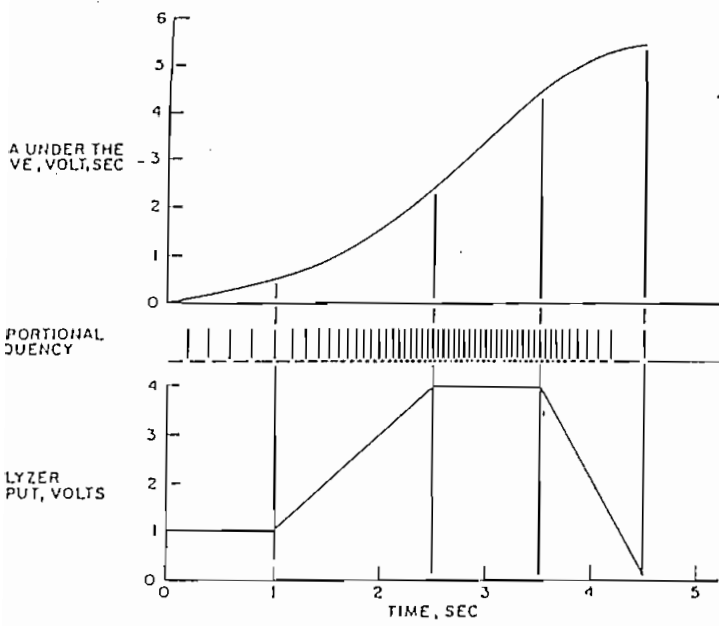


FIG. 10—INTEGRATION USING VOLTAGE-TO-FREQUENCY CONVERSION

Another method of obtaining the average concentration is to apply the analyzer output voltage to a digital computer, and to program the computer to sample the analyzer output at specified intervals, for example, at 0.5 s intervals. Once the computer has acquired the analyzer output voltages, a data reduction program can be written to calculate the average modal concentrations. This method permits analyzer output voltage to be converted to concentration for each data point taken. Therefore, the computer can time-average the concentrations rather than the analyzer signals. If the analyzer vibration curve is not linear, the time average of the analyzer signals, when converted to a concentration, will not give the same result as time-averaging concentrations, which is the correct value. Therefore, this integration technique is adaptable to use with analyzers having nonlinear calibration curves.

A third method of obtaining average modal concentration is to connect the output voltage of the analyzers to an analog computer (modified to linearize vibration of the input signal), and perform integration of the concentrations and division by the mode length in the analog computer. The recorder response when measuring exhaust gas concentrations will lag the driver's event signal because of driver response time, a variable exhaust system delay, and fixed sample system delay. Therefore, the concentrations for each mode will not be located on the charts at a point corresponding to the event signal of the mode. Where automatic data processing by means of a computer is used, compensation for time delay and nonlinearity of analyzer response will be incorporated in the integrating program.

4.2.1.2 *Event Marking Methods*—As mentioned in the previous paragraph, recorder response will lag the driver's event signal by a variable amount. When automatic data acquisition is used, some method must be provided for triggering integration of the analyzer outputs for each mode of the driving cycle.

Triggering may be accomplished by means of a two-channel tape deck, one channel being used for driver audio commands, the other channel for integrator triggering. In this case, the time lag between the driver's command and the recorder response can be experimentally determined for a variety of cars and modes. An average time lag can be determined, and the integrator triggering channel delayed by that amount relative to the driver command tape channel. In this case, it is desirable to match the time lags for various analyzers as closely as possible by varying sample flow rates through the individual analyzers, or by removing excess sample tubing.

If integration is accomplished in a computer, the computer can be programmed for separate time lags for each analyzer. Another method of triggering integrations is to sense abrupt changes in the recorder response, since an abrupt concentration change usually accompanies a change from one driving mode to another. The integrator or computer can sense rate of change of the analyzer output, and begin integration when an abrupt change is detected.

2.2.2 *MANUAL PROCESSING*

4.2.2.1 *Integration Techniques*—The recorder response for measuring exhaust gas concentrations will always lag the engine's operation because of a

variable exhaust system delay and a fixed sample system delay. Therefore, the concentrations for each mode will not be located on the charts at a point corresponding to the exact time of the mode. For each cycle to be evaluated, proceed as indicated by paragraphs 4.2.2.1(a)-(c).

(a) Determine whether the cycle was driven in accordance with the specified cycle timing by observing either event marks, speed trace, manifold vacuum trace, or concentration traces. Deviation by more than 2 s from the specified time for each mode will invalidate the data.

(b) Time correlate the hydrocarbon, carbon monoxide, carbon dioxide, and NO<sub>2</sub> charts, if used. Use all clues available to determine the location on the chart of concentrations corresponding to each mode. Use judgment in recognizing and compensating for trace abnormalities.

(c) Integrate the concentrations for each mode, and record data for each cycle of the test.

4.3 *Chassis Dynamometers*—Chassis dynamometers should be of the power absorption type with variable inertia load capabilities. Installation of the dynamometer should be such that the vehicle is level.

4.3.1 *VEHICLE SPEED*—The dynamometer apparatus should include a means to read and/or record (on a strip chart recorder) vehicle speed (mph).

4.3.2 *POWER ABSORPTION UNIT*—The power absorption unit must be adjustable for road-load conditions (typically 8-10 hp) at 50 mph cruise and should have ±1 hp accuracy and good repeatability. (The dynamometer absorption unit should be warmed up by running for several minutes before horsepower settings are made.)

4.3.3 *VEHICLE INERTIA*—Under transient conditions, vehicle inertia must be reproducible on the vehicle test dynamometer. This is commonly accomplished through the use of flywheels, with the appropriate inertia loading (250 lb increment) for the weight of the vehicle.

4.4 *Engine Dynamometers*—Engine dynamometers can be used, but the exhaust emission results will not necessarily correlate with those from chassis dynamometer tests. Carburetor air inlet temperature or engine soak temperatures during engine dynamometer tests must approximate those obtained with a chassis dynamometer.

4.5 *Gas Flow Measuring Systems*

4.5.1 *INTAKE AIR*

4.5.1.1 *Orifice Plate Meters*—The orifice plate has been successfully used for many years to measure the carburetor airflow of laboratory engines, both single and multicylinder. When used correctly, the orifice plate air meter provides a reliable, accurate method for measuring carburetor airflow. For good results, the orifice meter must be designed for proper inlet and outlet conditions. In addition, it must be recognized that serious errors in flow measurements can be caused by engine pulsations, either in the form of pressure waves traveling through the air with the speed of sound, or by pulsations in the flow of air itself. These errors are introduced because the differential manometer, or other recording device across the orifice, indicates approximately the arithmetic mean differential pressure, while the airflow varies with the mean square root of the differential pressure. The result is that the recorded differential pressure is too great for the actual flow, causing the meter to read high.

Errors due to pressure variations may be reduced by insuring that the pressure lines leading to the meter have equal coefficients of discharge for inflow and outflow, and the capacity in the lines and meter on each side of the mercury or water column are equal. Errors due to velocity variations change with many factors, and the variations should be minimized since there is no satisfactory manner for making proper corrections. These velocity pulsations can be reduced by increasing the capacity of the line between the engine and the meter, and by increasing the pressure drop between the engine and the atmospheric side of the orifice meter. Most orifice meters used with laboratory engines are combined with large surge chambers to reduce the effect of velocity pulsations so that correct airflow measurements can be made. The orifice plate airflow meter is, therefore, used primarily for steady-state airflow measurements.

4.5.1.2 *Laminar Flow Meter*—During recent years laminar flow meters have been developed for measurement of carburetor airflow of automobiles during all normal operating modes. In order to minimize the possibility of disturbing normal air-fuel mixture distribution, the laminar flow element can be adapted to fit most carburetor air cleaner housings. The flow element is usually constructed with hundreds of small triangular openings which are formed by winding a crimped stainless steel sheet sandwiched between two flat sections. A matrix element is formed in which all of the passages have the same triangular geometry. These elements form a bundle of capillary columns having sufficient length-to-diameter ratio to assure laminar flow throughout the engine operating regime. With proper design and construction, Reynolds numbers can be kept low and the pressure drop across the laminar flow meter can approximate that of the standard air cleaner.

A major advantage of the laminar element airflow meter is compactness. Since no surge tank is needed, the units can be used for road tests as well as laboratory measurements. Even with engine pulsations, the flow rate indi-

of the laminar element is correct. When used in conjunction with flow transducers and electronic integrators, the laminar element flow meter can be used to record airflow during transient flow conditions. Precautions should be taken to make sure that all sources of air inducted into the engine are measured.

#### Cooling System

**CHASSIS DYNAMOMETER**—For vehicles undergoing exhaust emissions tests on a chassis dynamometer, engine cooling is maintained by utilizing the vehicle's normal water cooling system and a fixed speed cooling fan. The fan should have a capacity of  $5300 \pm 300$  cfm-air with a discharge area of approximately 470 in<sup>2</sup>.

The cooling fan should be located immediately in front of the vehicle's cooling air inlet with the hood or engine compartment lid open.

**ENGINE DYNAMOMETER**—The engine cooling system on the engine dynamometer test stand can resemble, as nearly as possible, the system in use on the vehicle application with additional airflow being provided by a cooling fan described in paragraph 4.6.1. If this system is not convenient, an alternate source for cooling water can be used; however, if good correlation between engine and chassis dynamometer tests is desired, care should be taken to ensure, as nearly as possible, the cooling water temperature as compared to that of the chassis dynamometer test.

#### Test Procedures

**Vehicle (Engine) Preparation**—Preparation and preconditioning of the test vehicle must be performed on all test vehicles prior to any exhaust emissions testing in order to insure the acquisition of reliable and valid emission measurements. These operations are necessary to help minimize the introduction of scatter in the data due to variations in engine operation, ambient temperature conditions, and changing of crankcase oil.

**AMBIENT TEMPERATURE**—Temperatures during the soaking prior to test emission tests shall be maintained between 60 and 86 F. During testing, the ambient temperatures should be held between 60 and 86 F. For test repeatability, the temperatures should be maintained even more closely ( $76 \pm 3$  F).

**PRELIMINARY OPERATION**—The vehicle should then be checked and adjusted, as necessary, to the manufacturer's tune-up specifications. The following precautionary checks could serve to insure that the vehicle's engine is in proper operating condition:

Cylinder compression

- (b) Choke calibration and fast idle settings
- (c) Ignition system operation
- (d) Exhaust heat valve operation
- (e) Ignition timing setting

**5.1.3 Test Fuel**—The fuel recommended for testing purposes should conform to the specifications shown in Table 2. The purpose of using this particular fuel is to allow correlation to be established with laboratories that are geographically separated. If a different fuel is used, its characteristics should be recorded with the test data.

The test fuel may be stored in the test vehicle fuel tank, or in a safety approved auxiliary vessel which can be connected to the vehicle fuel system. If the test fuel is to be stored in the vehicle fuel tank, the fuel system should be purged and kept free of pump grade fuel. When fuel evaporative emissions are to be measured, the fuel and fueling requirements specified in the SAE procedure for evaporative emissions should be followed.

**5.1.4 Oil Change**—The changing of crankcase oil before cold start emission tests is recommended to help insure repeatability of cold start emission values. Experience has indicated that contaminants in the crankcase introduced by engine blowby (crankcase dilution) can cause emission values to vary with repeated testing.

TABLE 2—TEST FUEL SPECIFICATIONS

	Specifications	ASTM Designation
Octane Research, min	100	D 1656
Pb (Organic), g U.S. gal	3.1-3.3	D 526
Distillation range, F		D 86
IBP	75-95	
10%	120-135	
50%	200-230	
90%	300-325	
EP, max	415	
Sulfur, wt %, max	0.10	D 1266
Phosphorus theory	0.0	
Rvp, lb	8.7-9.2	D 323
Hydrocarbon composition, %		D 1319
Olefins, max	10	
Aromatics, max	35	
Sulfurates	Remainder	

## APPENDIX OTHER MEASUREMENT TECHNOLOGY

**Variable Rate Proportional Sampler**—In order to measure the emissions of a wide variety of vehicles, a portable sampling system has been developed that can collect a fixed fraction of the total exhaust discharged from a vehicle. This Variable Rate Proportional Sampler, is an electromechanical device designed to collect an exhaust sample at a rate that is proportional to engine airflow. The sampler system (Fig. A-1) consists of five major units: inlet air measuring system, sample collection and transfer control module, ice bath condenser, and electrical supply.

The inlet air measuring system consists of a laminar flow metering element operating in conjunction with the stock carburetor air cleaner for the test vehicle. The flow element matrix is described in paragraph 4.5.1. The matrix is housed in a housing attached to the air cleaner to provide airflow through the matrix with minimal opening and minimize effects on cylinder-to-cylinder distribution. The flow element is sized to provide a pressure drop of the order of 1 in. of water at a flow of 150 cfm to prevent carburetor enrichment due to a choking effect. The laminar element housing is designed with a flow straightener at the inlet and outlet with pressure taps across the laminar element for a pressure transducer and a carburetor temperature sensor to provide a signal for flow measurement.

The sample collection and transfer module contains the sample handling system consisting of a laminar sample flow element and transducer, a regulated flow control valve, a sample temperature transducer, a vacuum pump, and a plastic sample bag. The sample bag is contained in a sealed container which is pressurized or evacuated to permit moving the sample in or out of the bag without passing it through a pump.

The control module contains a pair of carrier-demodulators for the carburetor and sample flow transducers, integrators to total carburetor and sample flow, a recorder for carburetor air and exhaust sample temperature, and a servo amplifier which operates the sample flow control valve to hold constant the flow ratio between sample and carburetor airflow.

The ice bath condenser is used to remove moisture from the exhaust gas before the gas reaches the sample flow element. This is to prevent interference introduced by moisture condensing in the capillary passage of the flow element.

Electrical power is provided by an inverter, with good voltage regulation capability and with a capacity of approximately 250 W of 120 V, 60 Hz, from the 12 V system of the test vehicle. During calibration and laboratory operation, the sampler can be operated from line voltage.

The sampler is installed in the car with the control module on the front seat accessible to the driver. The other components are usually placed in the rear passenger compartment.

Prior to collecting an exhaust sample, the sample bag is partially filled with nitrogen from a portable cylinder. The purpose of the nitrogen dilution is to reduce reactions within the exhaust sample during the collection and storage period before an analysis is made. Sufficient nitrogen should be introduced to provide a final dilution of nitrogen to exhaust of at least three to one.

Before sample collection is initiated, sampler controls are adjusted with the sampler in bypass configuration so that the operator can determine if the sampler is operating properly. At the starting point of the test route, the sampler is switched on and the car driven as desired. At the conclusion of the test run, the sampler is switched off and the exhaust sample transferred to a portable bag for laboratory analysis. The sample and carburetor flow data from the integrators is used to convert sample concentration to mass flow information.

### A2. Gas Flow Measuring Systems—Direct Measurement

**A2.1 Introduction**—Direct measurement of exhaust gas utilizing a laminar flow meter provides a method in which the mass of pollutants emitted, as well as exhaust volume can be measured. The system measures exhaust gas flow from a vehicle during any driving cycle on a chassis dynamometer on a mode by mode basis. The ability to measure individual modes of a driving cycle eliminates the restriction of being able to only analyze closed self-weighting cycles.

**A2.2 Sampling Equipment**—Fig. A-2 is a schematic diagram of a typical sampling system.

Exhaust gas passes from the tail pipe of the test vehicle through stainless steel flexible tubing to the exhaust cooler. The exhaust is cooled to about 55 F, and moisture is removed in the traps located at the bottom and downstream of the cooler. Gas then passes through flexible neoprene tubing into a plenum

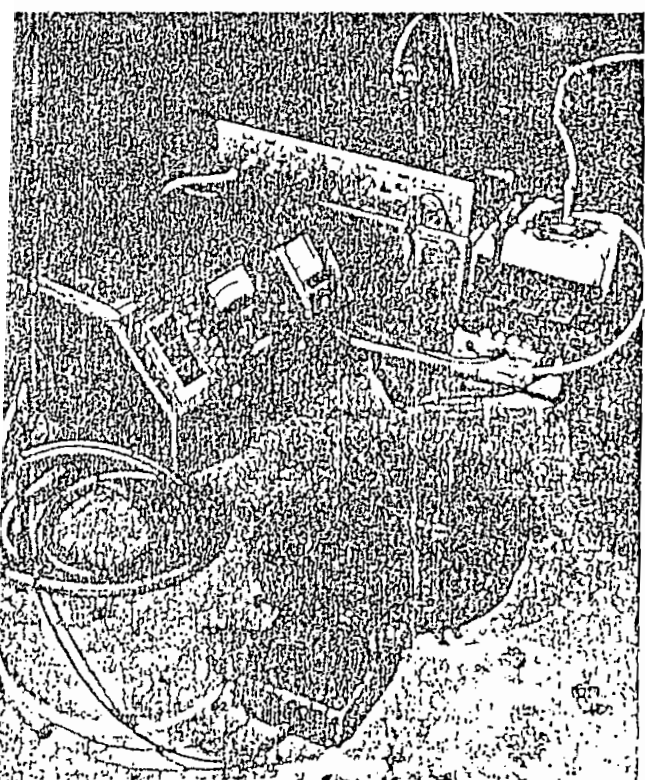


FIG. A-1--PROPORTIONAL SAMPLER

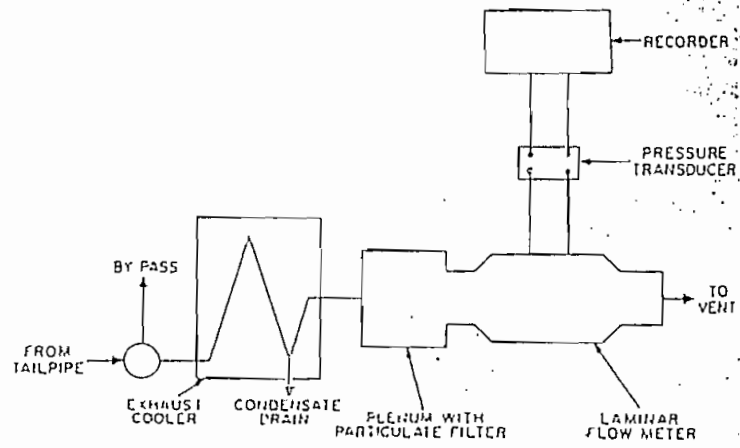


FIG. A-2--TYPICAL SAMPLING SYSTEM

ber which also houses a low restriction filter element. The gas then flows through a laminar flow meter which is equipped with thermocouples and a transducer coupled to a strip chart recorder.

The valving of Fig. A-2 provides a means for bypassing the system while running up the vehicle or making entire adjustments. Pneumatic or other type control valves are suggested, so the valves can be controlled from a convenient location.

The exhaust cooler's purpose is to remove condensate from the gas so that further condensation will occur downstream. The accuracy of the flow meter would be greatly impaired if condensate were allowed to pass through the cooler.

The cooler should be designed in a manner that offers the lowest possible amount of flow restriction, as well as meets the necessary heat transfer requirements.

The plenum chamber serves two purposes: it dampens exhaust pulsations from the vehicle, and it houses a low restriction filter element which traps particulate matter.

The laminar flow meter provides the means to measure exhaust gas flow. The laminar flow metering system depends for its accuracy and metering operation on the principles of laminar flow. Essentially, a slight differential

pressure is created by the insertion, into the flowing stream of a matrix resistance element. This element creates a differential pressure which follows a linear flow relationship.

The transducer and thermocouple connected to a strip chart recorder provide a continuous trace recording of temperature and flow during the course of the test.

**A2.3 Operation**—Operation of the system is straightforward. Exhaust gas from the vehicle tail pipe is directed into the sampling system. As gas flows through the metering section, a differential pressure is created, which is measured by a transducer.

The signal from the transducer is fed to a strip chart recorder which provides a continuous trace reading of the test.

To determine the mass of emitted pollutants, a separate sampling probe from an NDIR analytical train must be inserted into the vehicle tail pipe so that pollutant concentrations can be measured during the test.

**A2.4 Data Reduction**—For calculation of exhaust flow on a mode by mode basis, hand calculation is possible using the technique described in Section B5.86, Vol. 33, No. 108 of the Federal Register.

If large numbers of tests are involved, a large amount of work is required, and some form of automatic data reduction may be justified.

When measurements are to be made in terms of weight, or standard cubic feet, corrections for barometric pressure and temperature must be made. The laminar flow element is not significantly affected directly by temperature. However, its flow relationship depends directly on viscosity which is affected by temperature. Gas viscosity, contrary to liquids, increases with temperature. For air, an increase of 10 F will increase the differential pressure 1.5% for the same volume flow.

For pure gases or gas mixtures on which viscosity data are available, accurate corrections can be made.

**A2.5 Calculations**—For one mode where volume is to be measured:

$$\text{Volume} = \text{Flow rate} \times \text{Mode duration} \times \text{Viscosity correction}$$

where: Flow rate = ft<sup>3</sup>/min

Mode duration = min

$$\text{Viscosity correction} = v_{\text{ext}}/v_{\text{ref}}$$

CONSTANT VOLUME SAMPLER SYSTEM FOR EXHAUST POLLUTANT EMISSIONS MEASUREMENT—SAE J1094a

SAE Recommended Practice

SAE Automotive Emissions Committee approval June 1971 and completely revised by Automotive Emissions Committee April 1976. Editorial change November 1978.

This SAE Recommended Practice describes uniform laboratory procedures for employing the constant volume sampler (CVS) system in measuring various constituents in the exhaust gas of gasoline engines installed in passenger cars and light trucks. The techniques described relate particularly to CVS systems employing positive displacement pumps. In some areas of SAE practice, alternate procedures are given as a guide toward development of uniform laboratory techniques.

The report includes the following sections:

1. Introduction

2. Definitions
3. Test Equipment
  - 3.1 Sampler
  - 3.2 Bag Analysis
  - 3.3 Modal Analysis
  - 3.4 Instrument Operating Procedures
  - 3.5 Supplementary Discussions
  - 3.6 Tailpipe Connections
  - 3.7 Classic Dynamometer