



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DISEÑO DE UN DATALOGGER PARA DATOS  
AMBIENTALES Y METEOROLOGICOS PARA  
IBM PC/XT/AT Y COMPATIBLES

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

I N G E N I E R O  
MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A N :

JOSE ANTONIO CORONA JAMAICA  
JOSE ANTONIO DOMINGUEZ HERRERA  
CARLOS GARDENIA JIMENEZ

ASESOR : ING. MARTIN FUENTES CRUZ



MEXICO, D.F.

1993

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



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

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

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

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

## INDICE

INTRODUCCION.	1
<b>CAPITULO I</b>	
<b>FUNDAMENTOS DE CONTAMINACION ATMOSFERICA</b>	<b>3</b>
I.1 CONTAMINACION ATMOSFERICA.	4
I.1-a Casos graves de contaminación del aire.	5
I.1-b Efectos de la contaminación.	6
I.1-c Meteorología de la contaminación ambiental.	9
I.1-d Los contaminantes del aire.	11
I.2 NORMAS Y CRITERIOS DE LA CALIDAD DEL AIRE.	16
I.3 INDICE METROPOLITANO DE CALIDAD DELAIRE (IMECA).	18
I.4 LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MEXICO Y LA CONTAMINACION ATMOSFERICA.	20
<b>CAPITULO II</b>	
<b>CONSIDERACIONES Y PRINCIPALES ELEMENTOS DEL SISTEMA.</b>	<b>26</b>
II.1 CARACTERISTICAS DE UN SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS.	27
II.2 DESCRIPCION DEL SISTEMA.	31
II.3 ANALIZADORES AMBIENTALES Y MONITORES METEOROLOGICOS.	34
II.3-a Analizadores ambientales.	34
II.3-b Monitores meteorológicos.	37
II.4 TIEMPOS DE MUESTREO Y PROMEDIOS ESCALAR Y VECTORIAL.	39

II.4-a	Tiempos de muestreo.	39
II.4-b	Promedios escalar y vectorial.	41
<b>II.5</b>	<b>USO DE SWITCHES ANALOGICOS CON PROTECCION CONTRA PERDIDA DE POTENCIA.</b>	<b>43</b>
II.5-a	Multiplexaje con switches analógicos.	44
II.5-b	Latch-up.	44
II.5-c	Protección contra sobrevoltaje.	45
II.5-d	Protección contra pérdida de potencia.	46
<b>II.6</b>	<b>ERRORES Y CONSIDERACIONES POR LA PRESENCIA DE LOS CANALES ANALOGICOS EN LA TRAYECTORIA DE LA SEÑAL A MUESTREARSE</b>	<b>48</b>
II.6-a	Errores debidos a la Resistencia de Encendido.	49
II.6-b	Variaciones en la Resistencia de Encendido.	49
II.6-c	Corrientes de fuga.	52
<b>II.7</b>	<b>TECNICAS DE CONVERSION (A / D - D / A)</b>	<b>53</b>
II.7-a	Convertidores Analógico-Digitales.	53
II.7-b	Convertidores Digital-Analógico.	56
<b>II.8</b>	<b>MEMORIAS FLASH.</b>	<b>58</b>
<b>II.9</b>	<b>CIRCUITOS LOGICOS PROGRAMABLES.</b>	<b>62</b>
<b>II.10</b>	<b>TECNICAS DE INTERFASE.</b>	<b>66</b>
<b>II.11</b>	<b>EL SISTEMA DE BUS DE EXPANCIÓN o SLOT (RANURA) DE LA PC.</b>	<b>71</b>

**CAPITULO III**  
**EL MICROCONTROLADOR 80C196KC DE INTEL.** **77**

---

<b>III.1</b>	<b>EL MICROCONTROLADOR 80C196KC</b>	<b>78</b>
III.1-a	Operación de la Unidad Central de Proceso (CPU).	78
III.1-b	Espacio de Memoria.	82
III.1-c	Periféricos.	84
III.1-d	Interrupciones.	86
III.1-e	PTS.	86

III.2 HERRAMIENTAS DE SOFTWARE.	87
<b>CAPITULO IV</b>	
<b>DISEÑO DEL SISTEMA</b>	<b>90</b>
IV.1 SECCION ANALOGICA.	91
IV.1-a Multiplexores Analógicos.	91
IV.1-b Amplificación de Ganancia Programable.	91
IV.1-c Muestreo y Retén.	93
IV.1-d Conversión Analógico-Digital.	94
IV.2 SECCION DIGITAL.	100
IV.2-a Latch a la salida del ADC.	100
IV.2-b CPU.	100
IV.2-c Mapa de Memoria.	102
IV.2-d Memoria de Programa.	103
IV.2-e Memoria de Datos.	107
IV.2-f Watchdog Timekeeper para generar Interrupciones de Tiempos de Muestreo.	111
IV.2-g Decodificación de Direcciones.	117
IV.2-h Respaldo de Batería para memorias RAM.	118
IV.2-i Entradas y Salidas Digitales (D I / O ).	123
IV.2-j Interfase.	126
<b>CONCLUSIONES Y COMENTARIOS</b>	<b>134</b>
<b>APENDICE A</b>	
<b>CONVERSION ENTRE UNIDADES DE MASA Y PPM</b>	<b>137</b>
<b>APENDICE B</b>	
<b>PRINCIPIO Y APLICABILIDAD DE LOS METODOS DE REFERENCIA DE LA US-EPA.</b>	<b>139</b>
B.1 METODOS DE REFERENCIA.	140

B.1-a Método de referencia para la determinación de dióxido de azufre en la atmósfera (Método de la paranosonilina).	140
B.1-b Método de referencia para la determinación de Materia suspendida en partículas en la atmósfera (Método de altos volúmenes).	141
B.1-c Método de referencia para la determinación de Monóxido de carbono en la atmósfera (Fotometría de infrarrojo no dispersivo).	142
B.1-d Método de referencia para la determinación de Ozono (O <sub>3</sub> ) en la atmósfera.	142
B.1-e Método de referencia para la determinación de Hidrocarburos corregido para metano.	143
B.1-f Método de referencia para la determinación de Dióxido de Nitrógeno en la atmósfera (Quimoluminiscencia de fase gaseosa).	143
B.1-g Método de referencia para la determinación de Plomo en materia suspendida en partículas colectadas del aire ambiental.	144
B.1-h Método de referencia para la determinación de materia en partículas como PM <sub>10</sub> en la atmósfera.	144

<b>APENDICE C</b>	
<b>ALGORITMO PARA EL CALCULO DE LA DESVIACION ESTANDAR DE LA DIRECCION HORIZONTAL DEL VIENTO.</b>	<b>146</b>

---

<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>150</b>
---------------------	------------

---

### INTRODUCCION.

En las últimas décadas la importancia respecto a la contaminación ambiental se ha incrementado, en particular, en la contaminación del aire. Se ha generalizado una conciencia en la población en la necesidad de crear mecanismos de abatimiento en base a la información continua de la prensa y las fuentes gubernamentales. En nuestro país esta tendencia se ha incrementado a tal grado que en la década pasada el problema de la contaminación atmosférica fué considerado en el Sistema Nacional de Planeación.

Para hacer efectivo el control de la contaminación se requiere de ciertas mediciones exactas además de contar con sistemas de monitoreo periódicos y la subsecuente cuantificación de los efectos sobre la población así como estimaciones a largo plazo. Es entendible, por lo tanto, que éste es un campo extenso y complejo que incluye muchas disciplinas de ingeniería y ciencia.

El presente trabajo forma la parte inicial (fundamentación teórica y diseño) de un proyecto que a la fecha se desarrolla en el Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas de la UNAM, que tiene como objetivo el proveer un sistema que sea funcionalmente competitivo con los equipos que son utilizados actualmente en la Red de Monitoreo Ambiental de la Ciudad de México, cuya tecnología es de importación.

Existe, por otro lado, en nuestro país cierto desconocimiento a nivel normativo de los aspectos que deben ser considerados para sistemas como el que se presenta en este trabajo y que son establecidas por organizaciones con experiencia en la materia (como en la Agencia de Protección del Medio Ambiente en Estados Unidos, US-EPA).

Se plantea como objetivo realizar una investigación sobre dichas normatividades y que pueden ser utilizadas en trabajos posteriores sobre desarrollos afines.

En el presente trabajo se tratan los temas de la siguiente manera:

En el capítulo I se resalta la importancia de contar con un buen programa de monitoreo atmosférico. Es en este capítulo donde se expone lo que debe ser entendido como contaminación atmosférica, los principales contaminantes del aire, sus consecuencias sobre los ecosistemas, la relación existente entre los contaminantes y las variables meteorológicas. Finalmente, se hace una reseña de la situación de la Ciudad de México con tal problema.

En el capítulo II se describe al sistema en forma cualitativa. En primer lugar se dan los principales elementos de los sistemas de adquisición de datos y enseguida se particulariza hacia el presente diseño. Esto se hace mediante un diagrama de bloques, a nivel funcional, de los principales elementos que lo conforman y, posteriormente, se hace una descripción de los aspectos más importantes resaltando sus principales características para justificar su utilización. Es en este capítulo donde se abordan las consideraciones necesarias para el

## **INTRODUCCION**

---

diseño del desarrollo de un sistema de adquisición de datos, para aplicaciones en monitoreo atmosférico.

El capítulo III se dedica al microcontrolador 80C196KC de Intel, en virtud de que este dispositivo será utilizado como elemento inteligente del sistema. En este apartado se muestra de manera funcional la forma en que está constituido el microcontrolador, así como una descripción de las principales funciones del mismo.

El capítulo IV tiene como objetivo exponer el diseño del sistema. Es aquí donde se justifica la presencia de cada uno de los elementos resaltando su funcionalidad dentro del sistema y anotando la forma en que se encuentran relacionados con los demás.

## **CAPITULO I**

# **FUNDAMENTOS DE CONTAMINACION ATMOSFERICA**

El análisis de la contaminación ambiental requiere de un esfuerzo interdisciplinario que sea capaz de proveer alternativas de solución para el mismo. La ingeniería no se ha quedado al margen de esta situación, por el contrario, uno de los campos en los que se ha aportado significativamente lo representa el monitoreo ambiental. El datalogger para datos ambientales y meteorológicos que se ha diseñado puede representar un ejemplo ilustrativo de tal situación.

Antes de examinar los elementos propios de diseño del sistema es importante revisar algunos conceptos relacionados con los parámetros físicos con los que se pretende trabajar. El presente capítulo tiene como objetivo dar los fundamentos teóricos vinculados con dichos parámetros. Se examinará lo que debe entenderse como "contaminación ambiental", sus causas y efectos, además de resaltar la importancia que encierra tener un buen programa de monitoreo. Se expone cuál es la relación existente entre los parámetros meteorológicos y ambientales y, finalmente, se hace una breve reseña de los lineamientos gubernamentales seguidos en las últimas décadas en nuestro país a nivel normativo y preventivo.

### **I.1 CONTAMINACION ATMOSFERICA.**

Se puede definir el término de **contaminación del aire** como: la presencia en el aire de toda materia o energía en cualquiera de sus estados físicos y formas que al incorporarse o actuar en la atmósfera modifica su composición, pudiendo afectar la vida humana, la de la flora, fauna o de la propiedad.

La historia de la contaminación ambiental es tan antigua como el hombre. Desde que los asentamientos humanos fueron capaces de dominar el fuego para la cocción de los alimentos se registró el primer indicio de contaminación del aire, aunque claro, su impacto negativo sobre la calidad del aire fué realmente bajo.

En 1272 se registró el primer movimiento de legislación en la materia, cuando el rey Eduardo I de Inglaterra prohibió el uso de carbón marítimo (llamado así por ser transportado vía marítima) como una medida para despejar de humo los cielos de Londres. El parlamento británico ordenó torturar y ahorcar a un hombre que vendía y consumía dicho combustible. Más tarde, durante los reinados de Ricardo II (1377-1399) y Enrique V (1413-1422) se tomaron medidas en Inglaterra para reglamentar y restringir el uso del carbón.

Los efectos nocivos de la contaminación no llegaron a niveles peligrosos sino hasta años recientes (principios de siglo), cuando empezaron a registrarse severas catástrofes de salud en ciudades importantes.

La contaminación del aire forma parte de la vida moderna. Es la consecuencia de la forma como construimos nuestras ciudades, la contaminación del aire es un residuo de los métodos con los que se producen nuestras mercancías, como las transportamos y la forma en que producimos energía para calentar e iluminar los lugares donde vivimos, nos divertimos y trabajamos. Es por esta razón por la que los programas de control de contaminación ambiental han tenido alta prioridad dentro de las sociedades modernas, como una medida por salvaguardar los intereses de las mismas y por supuesto evitar la repetición de los graves incidentes de contaminación del aire en la historia.

El muestreo de contaminantes y su subsecuente análisis es el punto de inicio para el control de la contaminación y su abatimiento. Todo tiempo y esfuerzo dedicado a definir métodos de análisis y de muestreo ayudará a obtener resultados productivos. Por otro lado, utilizar un inadecuado método de muestreo o tener un análisis incompleto de los contaminantes dará resultados que pueden no ser fiables para definir el problema completo.

Los objetivos que se persiguen al realizar un monitoreo ambiental, son los siguientes:

- Determinar los efectos de la contaminación del aire sobre el hombre y su ambiente.
- Definir las interacciones entre los distintos contaminantes y sus patrones de comportamiento e identificar acciones necesarias para su control.
- Evaluar el cumplimiento de las normas de calidad del aire y constatar los avances logrados en la lucha contra la contaminación.
- Establecer y activar, en su caso, procedimientos de contingencia para prevenir episodios de contaminación del aire más allá de los niveles permisibles.
- Establecer criterios ambientales para la reordenación urbana y planeación regional.
- Identificar emisiones prioritarias y problemas específicos, y desarrollar estrategias de control.
- Informar a la población y propiciar su participación en la solución del problema.

Como puede apreciarse, el primer objetivo es el que pone de manifiesto la importancia de tener un buen programa de monitoreo ambiental, la contaminación como tal, es un ente que atenta al deterioro de un ecosistema donde, por supuesto, el hombre queda incluido; por lo tanto, la trascendencia de los objetivos subsecuentes radica en la importancia por salvaguardar los intereses de la ecología.

### **I.1-a Casos graves de contaminación del aire.**

La evaluación de las experiencias representan una herramienta importante para la construcción y propuesta de nuevos caminos de política ambiental. A continuación se enumeran algunos de los casos más lamentables en la historia de la contaminación ambiental.

En diciembre de 1930 en Bélgica, en el valle de Meuse, una región altamente industrializada, se cubrió durante 3 días por una espesa niebla, por lo que cientos de personas enfermaron y 60 murieron. Poco tiempo después sucedió lo mismo en Manchester y Salford en Inglaterra durante 9 días, en enero de 1931, murieron 592 personas. En 1948 en Donora, Pennsylvania, un pequeño pueblo donde había plantas químicas y acereras se cubrió por cuatro días por una niebla, enfermando a casi la mitad de sus 14 000 habitantes, muriendo veinte personas. Diez años después, los residentes de Donora que habían estado gravemente enfermos en ese episodio, mostraron una tasa más alta de enfermedad y morían antes que el promedio de todos los habitantes. En 1873, una niebla cubrió a Londres y causó 268 muertos por bronquitis. No fue hasta que una gran capa de niebla cubrió Londres en 1952 cuando se hizo totalmente evidente el siniestro potencial de la contaminación del aire. La niebla duró 3 días y 10 días después se supo que el número total de muertos en la región principal de Londres sobrepasaba 4 000 al promedio. Se indicó que casi todos los que habían muerto inesperadamente tenían antecedentes clínicos de bronquitis, enfisema o trastornos cardíacos. Nuevamente, en 1956, se registraron 1 000 muertos más debido a una extensa niebla.

Las condiciones de neblina en Los Angeles, Nueva York, Chicago y otras grandes ciudades de Estados Unidos son muy comunes en la vida rutinaria.

Situaciones de alto grado de contaminación las han tenido Tokio, en Japón; Sao Paulo y Cubatao en Brasil; Armenia; Magnitogorsk, Alma Ato, Chelyabinsk, San Petesburgo en Rusia; estas últimas consecuencia no tanto de fuentes móviles sino producto de las industrias pesadas ubicadas en dichas regiones.

### I.1-b Efectos de la contaminación.

Los efectos de la contaminación del aire son variados, dependiendo en donde actúen. En el hombre, estos pueden variar desde la simple irritación transitoria hasta enfermedades agudas e incluso la muerte, en función de la magnitud de los niveles de concentración y de los períodos de exposición de la población afectada. Existen evidencias de que hay una contribución directa para el asma, enfisema, beriliosis, y es factor para el desarrollo de bronquitis, así como cáncer en el aparato digestivo y respiratorio.

Básicamente se usan dos enfoques en el estudio de los efectos sobre la salud en la población debido a la acción de los contaminantes atmosféricos: estudios experimentales (toxicológicos) con humanos y animales, y estudios epidemiológicos, basados en los efectos medibles en la salud de grupos expuestos naturalmente a determinados contaminantes. La duración de las exposiciones incluidas en estudios experimentales con humanos se limitan a períodos de pocos días. Por otra parte, los estudios epidemiológicos permiten evaluar los efectos crónicos, aunque también dan oportunidad a evaluar los efectos relacionados con exposiciones a concentraciones críticas en períodos relativamente cortos, principalmente en grupos de alto riesgo.

La calidad del aire y sus efectos sobre la salud son funciones extremadamente complejas. La asociación entre un contaminante y una enfermedad o una defunción puede ser mas accidental que causal. La muerte y la enfermedad representan sólo el extremo límite de toda una gama de respuestas. Una de las principales razones de esto se debe al hecho de que la duración y variabilidad en los niveles de concentración de los contaminantes atmosféricos, a los que se encuentra expuesta la población, son difíciles de estimar con precisión y, por lo tanto, cuantificar las relaciones causa-efecto.

Por su parte, en las células de las plantas (al igual que en los animales y humanos) se llevan a cabo numerosas reacciones químicas y procesos físicos para el crecimiento; el proceso de vida requiere un rango relativamente pequeño de temperatura, luz, agua y nutrientes. Además, la naturaleza puede permitir un cierto punto de "anomalías" en el transcurso de las reacciones para el proceso de vida, pero debido a factores adversos, incluyendo la contaminación del aire, estas anomalías se ven incrementadas y pueden guiar a varios estados de malfunción, hasta el extremo de llegar a perder la vida.

El efecto de los contaminantes sobre las plantas es muy dramático dado que éstas necesitan un intercambio de gases con la atmósfera que les resulta vital. Por si fuera poco, por medio de la fotosíntesis, las plantas liberan una gran cantidad de oxígeno, que es vital para la mayor parte de los seres vivos en el planeta.

Las hojas son las partes de los vegetales que se ven más afectadas por la contaminación. Los daños dependen del tipo de contaminante, la concentración, el tiempo de exposición al mismo y la resistencia de la planta. Aparentemente, los daños son mayores durante el mediodía de los días soleados por que en estas circunstancias, los estomas mantienen una máxima apertura permitiendo el acceso de los contaminantes a las partes internas de las hojas.

Entre los daños que se pueden observar, se pueden citar: necrosis de la planta, inhibición del crecimiento y ataque a los tejidos superficiales e intermedios.

Los contaminantes también tienen efecto sobre materiales inertes. A decir verdad, las pérdidas económicas registradas por este medio se han cuantificado a nivel millonario en Estados Unidos y en La Gran Bretaña [22]. Los mecanismos mediante los cuales los contaminantes deterioran los materiales son los siguientes:

- Abrasión.
- Deposición y remoción.
- Ataque químico directo.
- Ataque químico indirecto.
- Corrosión electroquímica.

Sólo las partículas de tamaño relativamente grande que viajan a velocidad suficiente pueden causar deterioro por abrasión; en este caso se encuentran las partículas de polvo.

La sedimentación de partículas pequeñas y sólidas sobre superficies expuestas causan deterioro estético, caso que se ve más marcado cuando se trata de monumentos y edificios. Aunque cabe mencionar que el mayor daño a los mismos se debe al proceso de limpieza de los polvos depositados.

El ataque químico directo se tipifica por los procesos de solubilización y por las reacciones de oxidación/reducción. Con frecuencia es necesaria la presencia de agua como medio para que se efectúen estas reacciones.

El ataque químico indirecto ocurre cuando los contaminantes son absorbidos y reaccionan con algún componente del absorbente para formar un compuesto destructivo, ya sea por sus propiedades oxidantes, reductoras, solventes, o bien porque remueve enlaces activos en la estructura del material.

A su vez, las reacciones de oxidación/reducción causan diferencias químicas y físicas locales sobre las superficies metálicas, estas diferencias ocasionan la formación de ánodos y cátodos microscópicos. El potencial electroquímico que desarrollan estas minúsculas baterías provoca corrosión.

Entre los principales factores que influyen sobre el deterioro de los materiales en relación con la contaminación del aire se encuentran:

- Humedad.
- Temperatura.
- Radiación solar.

La humedad es esencial para que ocurran la mayoría de los mecanismos de deterioro; por su parte, entre más alta es la temperatura del aire las tasas de reacción son mayores; no obstante, cuando las temperaturas bajas son acompañadas por el enfriamiento de superficies hasta tal punto que la humedad se condensa, entonces las reacciones se pueden acelerar.

Por otra parte, uno de los resultados de la industrialización en todo el mundo lo constituye el aumento en la emisión de partículas. Las partículas en la atmósfera tienden a bloquear el paso de la radiación solar hacia la superficie de la tierra. Este efecto de bloqueo se opone al causado por el aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> y vapor de agua en la atmósfera. Esto es, ocurre un descenso en la temperatura atmosférica promedio. Es difícil predecir cuál de estos dos factores tendrá la mayor influencia sobre las temperaturas atmosféricas en las décadas venideras, si las emisiones, obra del hombre, permanecen esencialmente sin control.

### **I.1-c Meteorología de la contaminación ambiental.**

El estado de la calidad del aire, además de ser función directa de la concentración de contaminantes, es también producto indirecto de las características meteorológicas y topográficas del área. El medio ambiente puede considerarse como un gran sistema termodinámico, donde la presencia de las variables temperatura, presión, humedad etc., son importantes para entender el comportamiento del mismo.

Las características topográficas locales, y las condiciones meteorológicas pueden clasificarse, de acuerdo con su extensión horizontal, en tres grupos: La macrometeorología, que comprende fenómenos a gran escala como por ejemplo un ciclón ó un frente frío, que abarcarían ambos hasta cientos de kilómetros de extensión; la micrometeorología, que estudia las condiciones meteorológicas de áreas relativamente pequeñas como un bosque, y, por último, la mesometeorología, que estudia las regiones entre la macro y micrometeorología, por ejemplo, una ciudad o metrópoli.

Los efectos de la contaminación atmosférica deben considerar estos tres tipos de meteorología, ya que en algún momento pueden ser el problema de contaminación atmosférica dependiente de alguno de ellos, como algunos estudios han demostrado correlacionando la acumulación de contaminantes y las medidas aerométricas.

Algunos fenómenos meteorológicos de transporte y difusión pueden ser complicados por la topografía del área, por ejemplo, los valles, cuando el flujo general es bajo, éste se tiende a canalizarse hacia los ejes del valle lo que produce un viento con una presencia de distribución bidireccional. Cuando el flujo del viento es bajo y el cielo se encuentra claro, las diferencias en la velocidad de calentamiento y enfriamiento de varias porciones de la superficie y paredes del valle causan pequeñas variaciones en densidad y presión de la atmósfera lo que resulta en pequeños patrones de circulación. Por lo tanto, el aire con mayor densidad (frío) tiende a fluir en la dirección general del piso del valle. Durante la tarde, la radiación del calor es de la superficie del suelo hacia la atmósfera y, por consecuencia el enfriamiento de la caja de aire en contacto con la superficie causan cambios de densidad en el aire. Durante la noche, se mueven pendiente abajo de la superficie (vientos katabáticos), lo que desplaza al aire más caliente que está en contacto con ella. Así queda en lugar de éste una masa de aire más frío, limitada por los lados que son las paredes del valle y en la vertical por la capa de aire más caliente. Los contaminantes emitidos a la atmósfera cuando existe ésta inversión de temperatura tendrán un movimiento vertical limitado por la base de esta inversión.

Otro fenómeno meteorológico propio de áreas urbanizadas es la isla de calor que es resultado de un mayor calentamiento del aire superficial en áreas altamente pobladas, con gran urbanización y actividades tales como tránsito vehicular ó industrias. Ello induce una mayor radiación y calentamiento de la masa de aire superficial, que origina el penacho térmico conocido como isla de calor sobre el área urbana.

La utilidad de los datos referentes a las fluctuaciones del viento para el entendimiento, clasificación y predicción del fenómeno de dispersión de los contaminantes, ha sido

reconocido desde la década de los cincuentas [9]. Tener conocimiento de estos datos representa una herramienta para el análisis de la propagación de contaminantes provenientes de múltiples, o indefinidas, fuentes en áreas urbanas. Numerosos estudios, a finales de los cincuentas y principios de los sesenta, demostraron que las fluctuaciones en la desviación estándar de la dirección horizontal del viento pueden ser utilizadas para hacer estimaciones de la difusión de los contaminantes; además, para fines climatológicos, la desviación estándar sería incluso más importante que las "fluctuaciones de viento", parámetro utilizado anteriormente.

Las variaciones de velocidad y dirección del viento, así como las calmas, se representan por diagramas (Rosa de los vientos) que muestra la distribución de la dirección y velocidad del viento de la localidad durante un período de tiempo determinado.

La rosa de los vientos más común, mostrada en la Figura I-1, consiste en un círculo del cual emanan ocho ó dieciséis líneas, una para cada punto cardinal de la brújula. La longitud de la línea es proporcional a la frecuencia del viento en esa dirección, la frecuencia de calmas se representa en el centro del círculo.

Se subraya entonces que, la meteorología está involucrada extensamente en problemas de contaminación atmosférica, porque ésta encamina a un entendimiento del proceso de dispersión, y en algunos casos proporciona estimaciones aproximadas de la concentra-

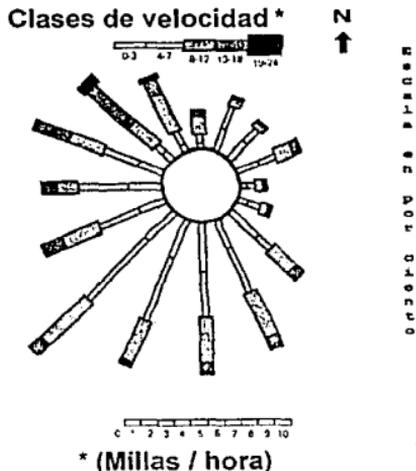


Figura I-1 Rosa de los vientos.

ción del contaminante en la vecindad de la fuente emisora, como lo es en el caso del bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).

#### **1.1-d Los contaminantes del aire.**

Los contaminantes atmosféricos considerados en las normas de calidad internacional son: bióxido de azufre, monóxido de carbono, partículas suspendidas totales, hidrocarburos, oxidantes fotoquímicos y óxidos de nitrógeno.

Es importante mencionar que es común expresar la cantidad de un contaminante gaseoso presente en el aire como *partes por millón* (ppm).

$$\frac{1 \text{ volumen de contaminante gaseoso}}{10^6 \text{ volúmenes de (contaminante + aire)}} = 1 \text{ ppm}$$

$$0.0001 \text{ por ciento en volumen} = 1 \text{ ppm}$$

Existe una relación entre la masa de un contaminante (que se expresa en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y las partes por millón, para tal conversión vea el Apéndice A.

#### **Bióxido de azufre.**

El bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) es un gas incoloro, que puede ser detectado por su sabor en concentraciones entre 1000 y 3000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (aprox. 0.38 y 1.15 ppm). En concentraciones más altas arriba de 10 000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (aprox. 3.0 ppm) tiene un olor cáustico irritante. Se disuelve fácilmente en agua para formar ácido sulfuroso (H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>) y en soluciones de este último se oxida lentamente para formar ácido sulfúrico con el oxígeno del aire. El SO<sub>2</sub> reacciona con el ozono formando sulfato. Antes de precipitarse como lluvia ácida, se forma un aerosol constituido por gotitas muy pequeñas capaces de dispersar la luz y por lo tanto, disminuyendo la visibilidad.

La cantidad de SO<sub>2</sub> que se encuentra en el aire resulta del uso de combustibles fósiles (quizá la fuente antropógena más importante) como el diesel y el combustóleo. Estos contienen cantidades variables de azufre que van desde 0.4 a 3.5 % en peso. También, actividades industriales como refinación y procesamiento de petróleo, producción de papel, fundición de minerales, como cobre, plomo, zinc, etc., emiten cantidades importantes de SO<sub>2</sub> y compuestos de azufre.

El bióxido de azufre es probablemente el contaminante atmosférico más conocido, se han hecho estudios sobre sus efectos en los ecosistemas (donde está involucrado el hombre, desde luego) a corto y largo plazo [19].

En una atmósfera contaminada con partículas suspendidas, el bióxido de azufre produce efectos de broncoconstricción (resistencia respiratoria), y parálisis de los cilios epiteliales del tracto respiratorio. Sin la acción regular, de barrido de éstos, las partículas podrían penetrar en los pulmones y sedimentarse (por lo común llevando cantidades concentradas de  $SO_2$ ), teniendo un prolongado contacto con los tejidos de los pulmones, pasando al torrente sanguíneo y entonces a todo el cuerpo. Una vez hecho ésto, al parecer sufre una metabolización [1] y se elimina a través de la orina.

En las plantas, el  $SO_2$  tiene sus efectos de mayor impacto en las hojas, y se pueden apreciar dos tipos de daños: 1) Severo, que implica una exposición a altas concentraciones por intervalos de tiempo cortos. En este caso, las hojas tienden a secarse, ponerse de un color amarillento y ocasionalmente rojizo. 2) Crónico, que implica estar expuesto a concentraciones bajas por intervalos de tiempo largos. Los efectos se reflejan en una tendencia de coloramiento amarillo sobre las hojas.

### Monóxido de Carbono.

El monóxido de carbono (CO) es un gas incoloro, inodoro e insípido. Su oxidación ocurre en la atmósfera, pero la velocidad de estas reacciones es muy lenta. El tiempo medio de residencia del CO en la atmósfera ha sido estimado entre 0.7 a 1.38 años [1].

El monóxido de carbono se genera en la combustión incompleta de combustibles fósiles. Idealmente, los únicos productos finales de una combustión completa de combustibles fósiles son el bióxido de carbono ( $CO_2$ ) y el agua ( $H_2O$ ); sin embargo, existen variables que afectan las emisiones de monóxido de carbono en las combustiones, como son: la concentración de oxígeno, la temperatura de la flama, el tiempo de residencia del gas y turbulencias en las cámaras de combustión.

El monóxido de carbono en áreas urbanas presenta variaciones diurnas, diarias, semanales, estacionales y tendencias anuales. Las diurnas, diarias y semanales son función de los patrones de tránsito vehicular de la comunidad; las variaciones estacionales dependen en gran medida de las variables meteorológicas; las concentraciones y tendencias anuales son altamente dependientes de los patrones de crecimiento de la población vehicular, del tipo de vehículo y su antigüedad.

Al inhalarse el CO interfiere con el transporte de oxígeno ( $O_2$ ) a los tejidos, porque la hemoglobina tiene una afinidad 200 veces mayor por el CO que por el  $O_2$ . De esta manera, se forma carboxihemoglobina (COHb), lo cual limita la distribución de oxígeno al cuerpo.

Existen estudios sobre el impacto del monóxido de carbono sobre la hemoglobina, dependiendo de la cantidad de aire respirado, la concentración y el tiempo de exposición [1].

Individuos con anemia, enfisema y otras enfermedades pulmonares, así como fumadores y aquellos que vivan en altitudes elevadas, son más susceptibles a los efectos del

monóxido de carbono. Aún en concentraciones relativamente bajas, el monóxido de carbono puede tener efectos sobre la función mental, agudeza visual y reflejos.

### **Partículas suspendidas totales (PST).**

El término partículas suspendidas abarca un amplio rango de sólidos o líquidos sutilmente divididos que pueden estar dispersos en el aire, y que se encuentran en un tamaño mayor que moléculas simples ( $0.0002 \mu\text{m}$  de diámetro), pero menor a  $100 \mu\text{m}$ . [ $1 \mu\text{m} = 1 \times 10^{-6} \text{m}$ ]. Las partículas suspendidas en este rango tienen una vida media en estado suspendido que va de unos cuantos segundos a varios meses.

La variación en cuanto al tamaño de las partículas suspendidas, requiere de algunas técnicas específicas para su estudio. De estos estudios se ha encontrado que las partículas suspendidas presentan distribuciones de tamaño y composición distintas. Se ha observado una distribución bimodal en el rango por debajo de  $100 \mu\text{m}$ , y difieren considerablemente en sus constituyentes químicos. Debido a que las PST pueden consistir de una gran variedad de sustancias, sus propiedades son variables también.

Entre las PST que presentan un mayor interés se encuentran las siguientes:

#### **- Partículas menores a $10 \mu\text{m}$ (PM10).**

Debido a su tamaño, éstas se sedimentan a una velocidad tan lenta que pueden ser inhaladas, lo cual incrementa el potencial tóxico y/o patógeno de sus componentes. Recientemente las PM10 se adoptaron en E.U. como parámetro de evaluación y regulación de la calidad del aire en sustitución de las PST [19]. Si bien la combustión de combustibles fósiles, polvos emitidos por industrias como cementeras, fundiciones, hornos industriales, quema de basura, entre otros, representa el proceso más relevante en la emisión de este tipo de partículas, una fracción importante también procede de las reacciones entre contaminantes primarios (principalmente  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_x$ ) y de fuentes naturales.

#### **- Partículas menores a $2.5 \mu\text{m}$ (PM2.5).**

En esta categoría se incluyen las partículas inhalables de mayor penetración en el sistema respiratorio y, por tanto, las más dañinas a la salud y las que por su tamaño (situado en el rango de longitudes de onda de la luz) interfieren con la dispersión de la luz, contribuyen a la disminución de la visibilidad.

#### **- Partículas aerobiológicas**

Entre las partículas suspendidas en la atmósfera se presentan las que mantienen actividad microbiana; por ejemplo, bacterias, hongos, virus y protozoarios, presentándose como células vegetativas o propágulos reproductivos. Por su tamaño (aproximadamente  $1$  a  $100 \mu\text{m}$ ), algunas de estas partículas aerobiológicas pueden quedar suspendidas en el aire durante largos periodos. Su importancia radica en el potencial infeccioso y alérgico que

depende a la vez de las características del agente patológico, las condiciones ambientales y la resistencia de los posibles huéspedes [19].

En general, las partículas en la atmósfera son producidas por dos mecanismos: Las de rango menor a  $1\ \mu\text{m}$  provienen principalmente de la condensación, mientras que las PS de tamaño mayor son el resultado de procesos mecánicos de combustión y otros. Las fuentes de partículas son muy variadas y están en función de la actividad propia de cada población. La combustión de energéticos es una de las principales fuentes de partículas, en la mayoría de los casos, originada por una combustión incompleta.

La contaminación por partículas finas pueden causar el deterioro de la función respiratoria en el corto plazo. En el largo plazo contribuyen a enfermedades crónicas, al cáncer e incluso a la muerte prematura.

Las partículas conocidas como PM10 de tamaño menor a  $10\ \mu\text{m}$ , son especialmente nocivas porque pueden penetrar a las cavidades pulmonares sin ser captadas por la acción de limpieza natural del sistema respiratorio. La US-EPA (Agencia de protección ambiental de los E.U.), estima que en este país más del 8% del cáncer de pulmón de no fumadores se debe a las PM10 contenidas en las emisiones de los vehículos que funcionan con diesel [19].

La US-EPA identifica los siguientes grupos humanos como los más sensibles a efectos de las partículas finas respirables en el aire:

- Personas con influenza, enfermedades crónicas respiratorias, cardiovasculares y ancianos.
- Niños.
- Otros grupos considerados sensibles son los fumadores y las personas que tienen problemas para respirar por la nariz. Durante el ejercicio, los atletas también pueden considerarse sensibles debido a su respiración forzada de alto flujo.

### **Hidrocarburos.**

Las concentraciones prevalecientes de hidrocarburos no significan un riesgo para la salud. Su importancia radica en que contribuyen a la formación, junto con los óxidos de nitrógeno y la presencia de luz solar, de oxidantes fotoquímicos como el ozono ( $\text{O}_3$ ).

Los hidrocarburos existentes en la atmósfera abarcan hidrocarburos no quemados y otras especies formadas durante la combustión, además de los compuestos orgánicos volátiles derivados de la fabricación, almacenamiento y aplicación de solventes y pinturas. Además, los hidrocarburos son emitidos en la manufactura química, la refinación del petróleo y la operación metalúrgica.

La US-EPA ha agrupado estos compuestos, según su reactividad atmosférica, en las siguientes categorías [19]:

- Baja reactividad.
- Reactividad moderada.
- Alta reactividad

Esta clasificación es útil para identificar los sectores industriales, procesos y sustancias cuyo control es prioritario.

### Oxidantes fotoquímicos.

Los oxidantes fotoquímicos son contaminantes secundarios; es decir, no son descargados directamente a la atmósfera sino que se forman a través de una serie de reacciones químicas catalizadas por la radiación solar. Cuando hidrocarburos reactivos y óxidos de nitrógeno se emiten a la atmósfera y son expuestos a la radiación ultravioleta (componente de la luz solar) produce la formación de estos nuevos compuestos (oxidantes) incluyendo al ozono y peroxiacilnitratos, siendo el primero el componente más abundante en las atmósferas urbanas.

En el caso de NO y NO<sub>2</sub>, antes de la salida del sol, sus concentraciones permanecen relativamente constantes y a niveles relativamente bajos. Conforme aumenta la actividad urbana, las concentraciones de los contaminantes primarios, NO y CO, crecen rápidamente. Después, con la influencia de la luz solar, se registra un aumento de NO<sub>2</sub> a la vez que su precursor, el NO, disminuye. Mientras la concentración de NO decae, los oxidantes fotoquímicos empiezan a acumularse, hasta alcanzar un valor máximo alrededor del medio día. Con el incremento del tráfico vehicular, en la tarde vuelve a presentarse un ligero aumento de NO. En la tarde y noche, aún sin la presencia del sol, continúa la formación de NO<sub>2</sub> a partir de NO hasta agotar el ozono.

Los efectos del ozono son potenciados por la presencia de otras variables ambientales, y existe evidencia de que son acumulativos.

Las investigaciones más recientes indican que los efectos del ozono están relacionados más de cerca con la exposición acumulativa diaria que con las concentraciones máximas de una hora. Las consecuencias de la exposición crónica a largo plazo son todavía inciertas, pero estudios recientes de epidemiología e inhalación animal sugieren que los niveles ambientales actuales son suficientes para causar envejecimiento prematuro pulmonar. Así mismo, se observa un incremento en frecuencia de ciertos tipos de ataques de asma en una pequeña porción de personas con esta enfermedad, en días cuando la concentración de oxidantes excede concentraciones máximas de 0.13 ppm.

### Oxidos de Nitrógeno.

De los óxidos de nitrógeno presentes en la atmósfera, los más importantes son el óxido de nitrógeno (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>). El término NO<sub>x</sub> se utiliza cuando se desea representar la suma de concentraciones de NO y NO<sub>2</sub>, es decir :



El uso de combustibles fósiles en los vehículos automotores representa una fuente importante de óxidos de nitrógeno [20]. Los  $\text{NO}_x$  que se forman durante la combustión son el producto de la oxidación del nitrógeno orgánico del combustible. La producción de  $\text{NO}_x$  se favorece a medida que aumenta la temperatura y, como resultado de esta dependencia, la producción de  $\text{NO}$  y  $\text{NO}_2$  es función también de la relación aire-combustible (A/C) en la mezcla.

Estudios de salud han mostrado que el bióxido de nitrógeno puede ser fatal a concentraciones elevadas. A menores niveles, pero todavía mayores que los que se respiran en el aire ambiental, irrita los pulmones, es causa de bronquitis y neumonía, y provoca disminución de la resistencia a infecciones respiratorias, por ejemplo, la influenza.

En E.U., desde 1950, se han observado los efectos del  $\text{NO}_x$  sobre los materiales y los vegetales [1], en particular, los efectos en los naranjos, el tabaco, espinaca y frijol; además, del efecto de la corrosión sobre metales. Los resultados obtenidos a partir de dichas observaciones son que ciertas concentraciones de  $\text{NO}_2$  pueden provocar la caída de las hojas y reducir la producción.

### 1.2 NORMAS Y CRITERIOS DE LA CALIDAD DELAIRE.

La calidad del aire se determina en función de las normas de calidad de los diversos contaminantes para los cuales se han elaborado primeramente los criterios de calidad correspondientes. Estos criterios de calidad del aire, para cada contaminante, representan la mejor información científica sobre la relación de la concentración en el aire del contaminante en cuestión y sus efectos sobre el hombre y su medio ambiente. Estos documentos son elaborados para apoyar el desarrollo de las normas de calidad del aire.

Los criterios de calidad del aire son descriptivos, ya que dan una idea de los efectos que son de esperar cuando los niveles de contaminación alcanzan o sobrepasan los valores específicos para un determinado período. Deben precisar los efectos causados por las combinaciones de los contaminantes, así como de los contaminantes individuales. Las normas, a diferencia de los criterios, son prescriptivas. Prescriben los niveles de contaminación que no se pueden exceder legalmente sobre un período específico en una región geográfica específica.

Las normas a su vez, dependiendo de su objetivo, se clasifican en normas primarias y secundarias. Las normas primarias de la calidad del aire son aquellas que, con un margen adecuado de seguridad, protegen la salud de la población. Las normas secundarias definen los niveles de la calidad del aire que protegen el bienestar de la población y a los recursos naturales o bienes, de cualquier efecto adverso conocido de los contaminantes.

CONTAMINANTE	TIEMPO	CONCENTRACION
Partículas suspendidas totales (PST)	24 horas	275 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Bióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	24 horas	0.13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Monóxido de carbono (CO)	8 horas	13 ppm
Bióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	1 hora	0.21 ppm
Ozono (O <sub>3</sub> )	1 hora	0.11 ppm

Tabla I-1 Normas de calidad del aire.

El 29 de Noviembre de 1982 aparecieron en el Diario Oficial de la Federación, las normas de calidad del aire, bajo el nombre de "Criterios de Calidad del Aire", error provocado por la confusión entre la definición de un criterio de calidad del aire y una norma de calidad del aire.

CONTAMINANTE	PROMEDIO DE TIEMPO	NORMA PRIMARIA	NORMA SECUNDARIA
BIOXIDO DE AZUFRE (SO <sub>2</sub> )	MEDIA ARITMETICA ANUAL	0.03 ppm	
	24 HORAS	0.14 ppm	
	3 HORAS		0.5 ppm
PARTICULAS SUSPENDIDAS	MEDIA ARITMETICA ANUAL	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	IGUAL
	24 HORAS	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	IGUAL
MONOXIDO DE CARBONO (CO)	8 HORAS	9 ppm	IGUAL
	1 HORA	35 ppm	IGUAL
OZONO (O <sub>3</sub> )	1 HORA	0.12 ppm	IGUAL
BIOXIDO DE NITROGENO (NO <sub>2</sub> )	MEDIA ARITMETICA ANUAL	0.053 ppm	IGUAL
PLOMO (Pb)	MEDIA ARITMETICA DE 3 MESES	1.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	IGUAL

TABLA I-2 Normas de calidad por la US-EPA

La Tabla I-1 muestra las normas de calidad del aire mencionadas. Entre las deficiencias que dichas normas tienen se pueden mencionar:

- 1.- No se proporcionan valores para normas primarias y secundarias, a diferencia de las de E.U. establecidas por la US-EPA.
- 2.- No se especifican si los promedios son geométricos o aritméticos.
- 3.- No se proporcionan valores para las normas anuales o mensuales.
- 4.- No se menciona cuántas veces al año se puede exceder la norma de calidad recomendada.
- 5.- No se establece la metodología oficial para medir las concentraciones recomendadas, ni los métodos equivalentes a dicha metodología.

La Tabla I-2 resume las normas primarias y secundarias establecidas por la US-EPA y que fueron publicadas en el 40 CFR Subcapítulo C-Programas del aire, Parte 50.- "Estándares nacionales primarios y secundarios de calidad del aire." (Edición 7-1-92).

Todas las mediciones están corregidas a la temperatura de referencia de 25 °C y a la presión de referencia de 760 milímetros de mercurio (1013.2 milibars). Los métodos de referencia, que son utilizados para obtener los estándares, son descritos en los apéndices A-K del mismo CFR (ver Apéndice B).

Las normas no se deben exceder más de una vez al año, excepto las que se basan en el promedio anual o el promedio geométrico anual.

### **I.3 INDICE METROPOLITANO DE CALIDAD DEL AIRE (IMECA).**

Un índice de calidad del aire pondera y transforma las concentraciones de un conjunto de contaminantes atmosféricos en un valor, que indica el nivel de contaminantes atmosféricos presente en una localidad dada y que puede ser difundido a la población en general.

Antes de la aparición del Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA), existió un precedente llamado Índice Mexicano de Calidad del Aire (IMEXCA), resultado de una revisión bibliográfica de los índices existentes en 1978, realizada en la entonces Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente de la SSA. Sin embargo, este índice contempló un enfoque muy particular (sin ética ambiental) de las normas de calidad del aire, así como los niveles de daño significativo para establecer las bases de ponderación de los efectos de los contaminantes; de ahí la efímera duración de este índice.

---

\* Código Federal de Regulaciones.

IMECA	CALIDAD DEL AIRE	CONTAMINANTE Y TIEMPO PROMEDIO					
		PST (24h)	PM10 (24h)	SO <sub>2</sub> (24h)	NO <sub>2</sub> (1h)	CO (8h)	O <sub>3</sub> (1h)
		µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	ppm	ppm	ppm	ppm
0-100	SATISFACTORIA	275	150	0.13	0.21	13	0.11
101-200	NOSATISFACTORIA	546	350	0.35	0.66	22	0.23
201-300	MALA	637	420	0.56	1.10	31	0.35
301-500	MUY MALA	1000	600	1.00	2.00	50	0.60

TABLA I-3 Escala IMECA (1993).

En el caso de E.U., el Índice Estandarizado de Contaminación (PSI)<sup>\*</sup>, es el resultado de una investigación realizada en 1975 en Estados Unidos y Canadá sobre todos los índices de contaminación en uso. Como resultado se llegó a uniformar los índices de calidad del aire.

Este índice está relacionado con los efectos agudos en la salud en exposiciones cortas (24 horas o menos).

La estructura del valor del índice PSI incluye cinco contaminantes: monóxido de carbono (CO), bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), PM10, oxidantes fotoquímicos (O<sub>3</sub>) y bióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>).

La estructura del IMECA, llamado así desde 1986, pretende ser semejante a la del PSI, en el que se emplean funciones linealmente segmentadas para calcular los subíndices correspondientes a los diferentes indicadores usados para definir la calidad del aire. Estas funciones segmentadas constan de coordenadas discretas llamadas puntos de quiebre unidas por segmentos de recta. Estos puntos de quiebre se obtienen con base en concentraciones para las cuales se conoce el daño significativo a la salud. A éstas se les asigna el valor de 500, y el valor de 100 se asigna a los valores de las normas primarias de calidad del aire. La Tabla I-3 muestra las concentraciones límite de la escala IMECA y sus criterios de calificación [19].

La gran diferencia entre el índice PSI y el IMECA es que este último se basa en normas de calidad incompletas; no considera los criterios establecidos en el PSI de alerta y advertencia ni tampoco presta importancia a la altitud, en el caso de la Cd. de México 2240 metros.

\* Del inglés *Pollutium Standar Index*.

## **1.4 LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MEXICO Y LA CONTAMINACION ATMOSFERICA.**

Entre las mayores metrópolis latinoamericanas, la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) es la única situada, en el corazón del continente, a una altura de 2240 m sobre el nivel del mar, a una latitud de 19° 26' 13" norte y longitud de 99° oeste. Su extensión es de más de 2 000 Km<sup>2</sup> y está enclavada sobre la porción suroeste de una cuenca lacustre de fondo plano limitada por grandes complejos montañosos de origen volcánico; al oriente, por la sierra nevada, cuyas cimas más elevadas sobrepasan los 5 000 m; al sur, por las serranías del Ajusco y Chichinautzin, que virtualmente llegan a los 4 000 m; y al poniente, por la sierra de las cruces, donde se superan los 3 000 m. La parte media de la cuenca queda bloqueada por la sierra de Guadalupe, donde los cerros más altos alcanzan los 2 600 m.

La ZMCM es particularmente sensible a la contaminación atmosférica debido a sus condiciones topográficas y climatológicas, que impiden la dispersión de los contaminantes, acumulándose en la atmósfera a altos niveles, originados por una gran densidad demográfica, vehicular e industrial.

Desde el punto de vista climático existen alteraciones significativas, principalmente: en la temperatura; existen cambios bruscos de un sitio a otro y se originan islas de calor propiciadas por la capa asfáltica (las diferencias de temperaturas entre campo y ciudad llegan a ser de 10 °C); en la precipitación, puesto que en las ciudades la lluvia es más intensa por la gran concentración de partículas contaminantes, las cuales sirven como núcleos higroscópicos que originan las gotas; y en la radiación solar cuya intensidad se atenúa cuando existen concentraciones importantes de contaminantes en la atmósfera.

En cuanto a los fenómenos meteorológicos que influyen significativamente en la concentración de los contaminantes pueden agruparse, según la época de año como sigue:

De octubre a enero: la conjugación de inversiones térmicas intensas, radiación solar débil y vientos en calma ocasionan la acumulación de contaminantes. En estos meses se registran los mayores niveles de contaminación atmosférica.

De fines de enero a marzo: la presencia de los vientos fuertes en la superficie producen una buena ventilación en el valle de México, pero generan altas concentraciones de partículas y polvos, principalmente en la zona oriente de la ciudad.

A partir de abril hasta principios de la época de lluvias: se presentan días muy calurosos que facilitan la dispersión de contaminantes por movimientos convectivos. En esta época la concentración es baja con excepción del ozono cuyo nivel es elevado debido a la fuerte insolación.

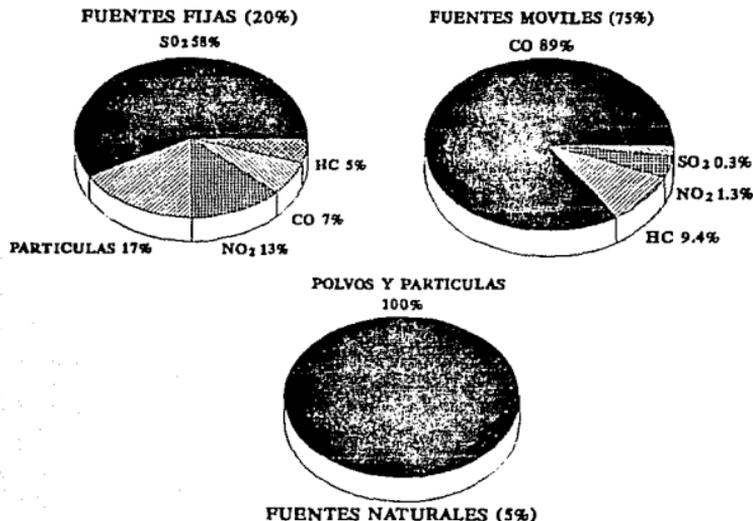


FIGURA I-2 Fuentes de contaminantes [23].

En la época de lluvias (de mayo a septiembre); las precipitaciones características de ésta época favorecen al lavado natural de la atmósfera, sin embargo, no hay que olvidar que uno de los mecanismos naturales de eliminación del bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) es por este medio en la forma de sulfatos o de ácido sulfúrico, dando lugar a las llamadas lluvias ácidas.

Se estima que en la ZMCM el total de contaminantes provenientes de las fuentes fijas (industrias y actividades comerciales en general) es de alrededor del 20% de la totalidad; de las fuentes móviles (los vehículos) corresponde un 75% y de las fuentes naturales un 5%.

En la Figura I-2 se ilustran los porcentajes de contaminantes debidos a cada agente.

Para calcular el IMECA se emplean los niveles diarios de contaminantes registrados en las 25 estaciones que conforman la red automática de monitoreo atmosférico (RAMA) que empezó a funcionar en 1985. Dichas estaciones se encuentran distribuidas en el área metropolitana, la cual se divide en cinco zonas: noreste, noroeste, centro, sureste y suroeste.

La localización de las industrias influye directamente en la distribución y concentración de ciertos contaminantes. A continuación se enumeran los principales focos industriales existentes en la ZMCM por zonas [23]:

**Zona norte y noroeste:** tiene la mayor concentración industrial en el valle de México. Comprende Azcapotzalco, Tlalnepantla, Cuautitlán y el norte del Distrito Federal. Algunos procesos industriales que aquí se desarrollan son: plásticos, insecticidas, solventes, productos químicos y farmacéuticos, ácidos metálicos, fertilizantes, termoeléctricas, automotriz, fundidoras, alimenticia, del petróleo, petroquímica y huleira.

**Zona noreste:** es la segunda zona de importancia industrial conformada esencialmente por Xalostoc y Vallejo. Los procesos aquí localizados son: automotriz, vidriera, tratado de metales, asbesto, industria química, alimenticia, pinturas y barnices, huleras, papel y plaguicidas, partes automotores, jabones y plantas de fuerza eléctrica.

**Zona este:** se considera dentro de esta zona al área comprendida desde Zaragoza y los Reyes la Paz, aquí se encuentran fuentes fijas de menor proporción. Es la zona que sufre de más contaminación de origen natural por partículas suspendidas provenientes del ex-lago de Texcoco.

**Zona sureste:** se considera dentro de esta región a Iztapalapa, lugar donde existe una concentración industrial media.

**Zona sur:** comprende Tlalpan, Coyoacán, Contreras y San Angel. Tiene baja densidad industrial, existen principalmente industrias químicas, químico-farmacéuticas, de papel de celulosa. Es la de menor contaminación por este tipo de fuentes.

**Zona oeste:** agrupa a las lomas altas de Chapultepec y la salida a Toluca donde no hay asentamientos industriales.

**Zona suroeste:** área correspondiente a San Pedro de los Pinos. Es residencial pero con industrias altamente contaminantes como cementeras, de asbesto, fundidoras, vidrieras, partes eléctricas etcétera.

**Zona centro:** reúne la mayor concentración de oficinas, comercios y centros culturales. El problema principal es la mezcla de áreas industriales con residenciales y comercios.

De los datos obtenidos por la red de monitoreo se tiene un registro de las ocasiones en que se han violado las normas de calidad del aire. En el período de 1986 y 1991, la calidad del aire de la ZMCM muestra una tendencia al deterioro, después de un período de aparente estabilidad entre 1988 y 1990. En la Figura I-3 puede apreciarse, en porcentajes, las estadísticas correspondientes para cualquier zona de la ciudad, siendo el ozono el contaminante que más excedió dichas normas.



FIGURA 1-3 Porcentaje de días con violación.

En las gráficas de la Figura 1-4 se observa el comportamiento de los principales contaminantes desde 1988 hasta agosto de 1992 [19] destacando las concentraciones diarias en la ZMCM (para el NO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub> se expresa el promedio máximo).

Desde el punto de vista institucional, el gobierno federal ha tratado el problema desde las últimas décadas. El primer movimiento en materia ambiental fué en 1971 cuando se promulgó la Ley de Protección al Ambiente. La entidad responsable de la atención del problema fué la Secretaría de Salubridad y Asistencia (SSA) a través de la subsecretaría de mejoramiento del ambiente (SMA). Su trabajo fué modesto debido a la escasez de recursos y a la gran gama de responsabilidades adjudicadas a tal institución. Sin embargo, se inició la recopilación de información en la materia y formulación de los rudimentarios métodos para determinar los niveles de contaminación.

En el sexenio de López Portillo se crearon más entidades involucradas en la gestión ambiental como la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas que tenía a su cargo la Dirección General de Ecología Urbana; por su parte, en la Secretaría de Agricultura se creó la Dirección General de Protección y Ordenamiento Ecológico, mientras que la SMA seguía con su papel normativo. A finales del sexenio, se expidió la nueva Ley Federal de Protección al Ambiente.

En la década de los ochentas, se generó una conciencia en materia ecológica al grado de ser integrada al Sistema Nacional de Planeación en el gobierno de De la Madrid. Durante su período presidencial, fué creada la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) asumiendo un papel esencialmente normativo. En sus primeros años de vida, la secretaría obtuvo notables avances en aspectos de diagnóstico de contaminación del aire en la ZMCM gracias a la red de monitoreo.

## FUNDAMENTOS DE CONTAMINACION ATMOSFERICA.

El 8 de enero de 1992 se publica en el Diario Oficial de la Federación un acuerdo por el que se crea la Comisión para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en la ZMCM, que tiene la finalidad de definir y coordinar las políticas, programas y proyectos, así como verificar la ejecución de las acciones que las dependencias y entidades de la administración pública deban emprender contra la contaminación ambiental en esta zona.

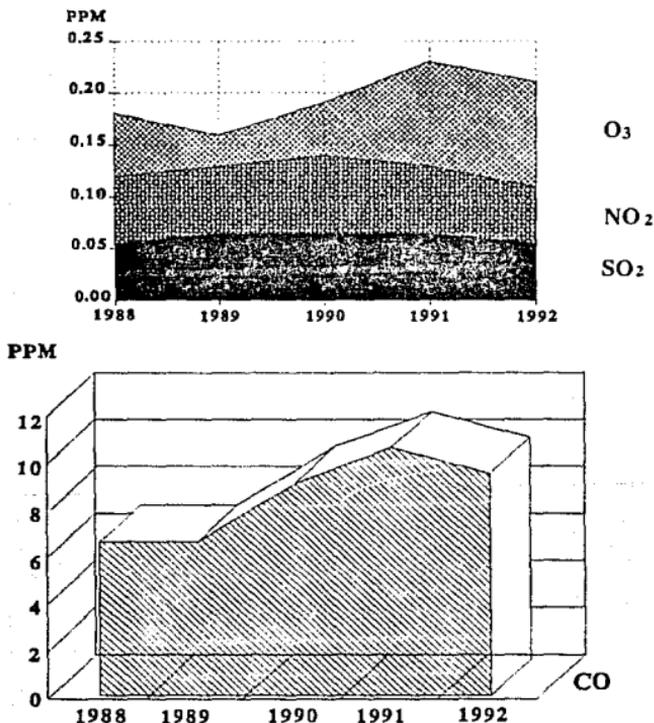


FIGURA I-4 Datos estadísticos (1988-1992)

En mayo de 1992 se reformó la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, creándose la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), que a través del Instituto Nacional

de Ecología y de la Procuraduría para la Defensa del Ambiente (como entidades desconcentradas) ha asumido las responsabilidades ambientales de la antigua SEDUE.

El gobierno federal ha dado apoyo a las investigaciones hechas en las direcciones generales de epidemiología y de salud ambiental de la Secretaría de Salud, donde se encargan de evaluar los efectos potenciales de la calidad del aire en la ZMCM. También, debe destacarse la labor de los grupos ecologistas que han llevado una labor de concientización a la sociedad sobre los peligros y alcances que encierra la contaminación, para los habitantes del Valle de México.

## **CAPITULO II**

# **CONSIDERACIONES Y PRINCIPALES ELEMENTOS DEL SISTEMA**

En años recientes con la aparición de los sistemas personales de cómputo se ha extendido la aplicación y versatilidad de los sistemas de adquisición de datos, los cuales al tener una comunicación con sistemas de este tipo han incrementado su potencialidad de aplicación y apoyo en los diferentes campos de la ciencia, instrumentación, control etc.

En el presente capítulo, se describen los sistemas de adquisición de datos en general, y en el capítulo correspondiente al diseño del sistema, se encamina a la descripción de nuestro sistema en particular, haciendo referencia a las consideraciones que deben ser tomadas en cuenta para su diseño, además de hacer una descripción cualitativa de los elementos más importantes que lo constituyen.

### **II.1 CARACTERISTICAS DE UN SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS.**

Podemos entender a un sistema de adquisición de datos (SAD), como aquel dispositivo que es usado para adquirir, almacenar, procesar y/o transmitir información en forma autónoma.

En los últimos años, dada la enorme tendencia al uso de mini y microcomputadoras, utilizadas como periféricos, los SADs representan un importante aditamento para las computadoras personales. Estos sistemas le permiten a la PC una comunicación entre el "mundo real", cuyas variables son analógicas, y un mundo "artificial" de la computación digital y de control.

Antes de la aparición de los SADs, todas estas tareas eran realizadas completamente por un equipo humano, algún operador tenía a su cargo el monitoreo de las señales de interés, con la ayuda de medidores especiales; todos los datos obtenidos se almacenaban, y posteriormente se procesaban por otras personas. Esta última tarea se podía volver tediosa pues se trabajaban con grandes volúmenes de datos y además se tenían que proporcionar resultados fáciles de entender como tablas o gráficas, así como promedios, máximos, mínimos etc.. Por si fuera poco, esta metodología implicaba una gran vulnerabilidad a errores de tipo humano.

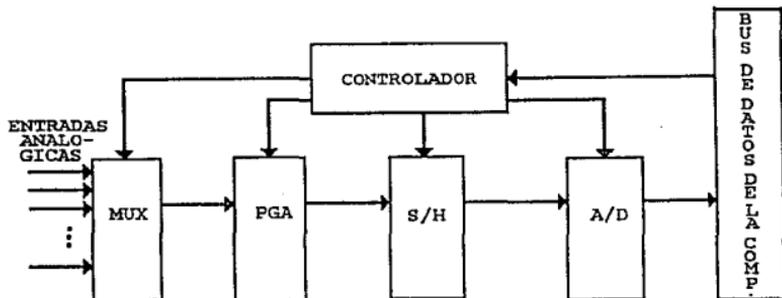
En la medida que se utilizaron las computadoras para aminorar el trabajo, los resultados se obtenían con mayor rapidez y mayor confiabilidad ya que todo el proceso ahora se podía hacer de una forma automática. El uso de los ordenadores trajo consigo un problema: el introducir la información a la computadora tenía que ser de forma muy particular. Por lo común esto se realizó por medio de tarjetas perforadas, sin embargo, este método era ciertamente ineficiente dado que por un lado la computadora libraba al hombre de su trabajo en el procesamiento de los datos, pero éste tenía que traducir los datos en tarjetas perforadas para introducirlos al ordenador.

En la medida que la electrónica fue avanzando, fué posible el desarrollo de transductores que fueron capaces de entregar una señal eléctrica proporcional al parámetro de entrada. Con la ayuda de estos dispositivos, la computadora tuvo la facilidad de poder hacer su trabajo en tiempo real.

Por supuesto, estos sistemas fueron muy costosos, y como una medida para tratar de reducir los mismos, se empezaron a desarrollar sistemas autónomos dedicados únicamente a la adquisición de datos, donde toda la información recopilada se almacenaba en algún banco de memoria o bien se transmitía a una computadora para su procesamiento; con ello, se empezaron a establecer redes automáticas de adquisición de datos.

Es así como surgieron los SADs de propósito específico, esto es, aquellos sistemas que sólo eran capaces de satisfacer determinadas tareas. Por otro lado, podemos mencionar que no todos los SADs son de propósito específico, pues los hay de propósito general, que a diferencia de los primeros son diseñados para satisfacer las necesidades de casi cualquier aplicación, con mínimas modificaciones. Por lo tanto, podemos dividir a los SADs, dependiendo de la finalidad para la que son diseñados como : SADs de propósito definido y de propósito general.

Una topología básica para un SAD es como se muestra en la Figura II-1. El sistema cuenta con un multiplexor a la entrada, donde se encuentra un interruptor de selección que permite el acceso a una línea de entrada (canal). Es importante mencionar que antes de esta etapa, se tiene un transductor, que se ha encargado de transformar el parámetro físico de interés a una señal de tipo eléctrico. En nuestro sistema, los analizadores de contaminantes ambientales y monitores meteorológicos, han convertido la lectura de la variable física de interés en voltaje. Cada una de estas señales está conectada a las entradas del multiplexor y, bajo la acción del módulo de control, seleccionará el canal cuya variable física sea la de interés para su procesamiento.



**FIGURA II-1 Sistema de Adquisición de Datos.**

A continuación, se puede apreciar un amplificador programable; dado que el nivel de voltaje a la salida de los transductores pueden ser muy pequeño (del orden de milivolts o volts), es necesaria la amplificación de dichas señales a niveles adecuados para su procesamiento posterior. Además, la salida del transductor puede ser de alta impedancia, puede entregar una señal diferencial, tener una salida de corriente, tener un nivel de offset o ser una combinación de ellas. Por otro lado, deberá tenerse cuidado en cambiar la ganancia en el amplificador, en la medida que se multiplexe cada canal. Esto es significativamente ilustrativo en el presente sistema, puesto que, independientemente si los rangos de voltaje de salida en la mayoría de los analizadores ambientales pueden ser seleccionados por el usuario, no implica que éstos coincidan con los rangos de voltaje de salida de los monitores meteorológicos, y más aún, que coincidan entre ellos. Ello pone de manifiesto la importancia de tener por adelantado, pleno conocimiento del rango de voltaje que se maneja en cada canal, con la finalidad de poder cambiar la ganancia del amplificador en la medida que se multiplexe cada variable.

Por lo anterior, puede saltar a la vista que el amplificador que se utiliza en el sistema debe ser capaz de resolver este tipo de dificultades o, dicho de otra forma, el amplificador que se utiliza deberá cumplir con características óptimas para obtener resultados adecuados.

A continuación se cuenta con un circuito de muestreo y retención, que hace la función de "congelar" la señal analógica a un valor de voltaje constante durante un tiempo determinado y, de esta forma, permitirle al convertidor analógico-digital hacer una conversión adecuada. La palabra digital resultante se transfiere al bus de datos de la computadora o a la entrada de un circuito digital. La resolución del convertidor quedará determinada por las necesidades propias del sistema. Un ejemplo de esta situación puede mostrarse si se analiza el presente sistema de monitoreo ambiental; al utilizar un analizador de PM10 (partículas menores a  $10 \mu\text{m}$ ) de Wedding & Associates Inc. se cuenta con una escala de medición (aprobada por la US-EPA) de  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a  $1\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Este analizador cuenta con un convertidor Digital-Analógico, a su salida, de 12 bits, si el SAD utiliza un convertidor de menos de 12 bits estaría perdiendo resolución en la información adquirida, desperdiciando la "calidad" de salida del analizador.

El control del SAD está supervisado por un módulo cuya única tarea es la de coordinar el buen funcionamiento de cada uno de los módulos restantes, pero dicho módulo a su vez está controlado por la computadora. En algunos casos, la computadora puede controlar completamente al SAD.

Es importante tener en mente que existen otras arquitecturas para implementar a un SAD. Por ejemplo, en lugar de multiplexar señales de bajo nivel, se utilizan señales previamente amplificadas, esto es, tener el módulo de amplificación antes y no después del multiplexor. Cuando se hace esto, en algunas ocasiones, las señales pasan también por circuitos analógicos no lineales antes de pasar por el multiplexor. Otro método es el de amplificar y convertir la señal en forma digital donde se encuentra el transductor y mandar estos datos en forma serial a la computadora.

## CONSIDERACIONES Y PRINCIPALES ELEMENTOS DEL SISTEMA

La clasificación de los SADs se hace en base a las siguientes características, independientemente si éstos son de propósito general o específico:

- a) Número de canales.
- b) Tipo de canales de adquisición.
- c) Consumo de potencia.
- d) Autonomía.
- e) Capacidad de almacenamiento.
- f) Capacidad de comunicación.
- g) Capacidad de procesamiento.
- h) Capacidad de decisión.
- i) Capacidad de actuar.
- j) Velocidad.
- k) Resolución.
- l) Costo.
- m) Tamaño físico.

El tipo de información que se maneja en un canal determina el tipo del mismo, esto es, si la información que se maneja en el canal es de tipo analógico, éste es un canal analógico; por otro lado, si se maneja información digital, el canal es de este tipo.

La autonomía de un SAD queda determinada por su capacidad de funcionamiento sin necesidad de recibir mantenimiento. Esta característica está directamente relacionada con su consumo de potencia y su capacidad de almacenamiento. Generalmente, los SAD utilizan memorias de acceso secuencial para almacenar la información adquirida, tales memorias permiten el almacenamiento de grandes volúmenes de información a un precio muy reducido.

El aspecto referente a la capacidad de comunicación del SAD se refiere a su capacidad para poder intercambiar información con otros dispositivos.

Aunque la mayoría de los SADs están diseñados para adquirir y almacenar datos exclusivamente y/o transmitirlos, también existen dispositivos inteligentes que son capaces de transformar la información adquirida, tomar decisiones en base a los resultados obtenidos, y ejecutarlas por medio de actuadores provistos precisamente para este fin.

Los SADs generalmente se diseñan y optimizan de acuerdo a uno de los siguientes parámetros: resolución o velocidad. La preferencia hacia uno de ellos, implica una restricción para el otro.

La resolución se refiere a la forma en la que está siendo representado el valor adquirido internamente. Esto significa que cada vez que se adquiere un dato, existirá la presencia de un error, dependiendo de la forma en la cual se estén "transformando" dichos valores internamente; este error deberá estar contemplado con los requerimientos de exactitud del mismo sistema. Por ejemplo, en los sistemas de 16 bits, que son muy comunes hoy en día, existe una resolución de una parte en 65,536 para cada señal de entrada en escala completa.

Por lo que se refiere a la velocidad de un SAD, se entiende como el tiempo requerido para acceder a un canal y obtener la información.

Para ciertas aplicaciones, las características dinámicas de un SAD juegan un papel importante para un desempeño eficaz. Por ejemplo, el ancho de banda del sistema debe ser lo suficientemente grande para permitir que se adquiera la información de las frecuencias más altas sin atenuación o distorsión. También, el período de muestreo debe ser lo suficientemente pequeño para permitir una adquisición adecuada en las señales de alta frecuencia.

Aunque existen algunas otras características para los SADs, las anteriores representan las más significativas.

### **II.2 DESCRIPCION DEL SISTEMA.**

Un datalogger puede entenderse como un sistema de adquisición de datos que, como ya se especificó, puede adquirir, almacenar, procesar y/o transmitir información.

El presente sistema tiene como objetivo el adquirir datos meteorológicos y ambientales, procesar los mismos y almacenarlos hasta que la computadora los requiera. Para tales fines, su diseño contempla el poder ser "insertado" en alguna de las ranuras de expansión (slots) de la PC.

Las variables que el sistema monitorea son listadas en la Tabla II-1.

Los tiempos de muestreo contemplados en la tarjeta responden a las normas que establece la US-EPA para tales fines. La variable más crítica en este caso la representa el viento, teniendo un período de muestreo de 1 segundo, obteniendo un promedio cada minuto y cada hora. En cuanto a las demás variables se refiere, se muestrean cada 10 segundos, obteniéndose promedios al minuto, y posteriormente a la hora; las variables que están involucradas en la opacidad tienen un promedio a los 15 minutos y se obtienen promedios horarios posteriormente.

En el diagrama de bloques que se muestra en la Figura II-2 se puede apreciar la disposición de cada una de las unidades que conforman al datalogger.

La unidad denominada "acondicionamiento de la señal" está compuesta por los multiplexores, el amplificador de ganancia programable, el circuito de muestreo y retén y el convertidor. Esta unidad tiene como objetivo la conversión de las señales de entrada, analógicas, a señales digitales que podrán ser interpretadas por el microcontrolador.

**CONSIDERACIONES Y PRINCIPALES ELEMENTOS DEL SISTEMA**

<b>METEOROLOGICAS</b>	
<b>NOMBRE</b>	<b>UNIDADES</b>
Velocidad del viento	m/s
Dirección del viento	Grados
Temperatura	°C
Humedad relativa	%
Presión barométrica	mbar
Precipitación pluvial	mm
Radiación solar	W/m <sup>2</sup>

<b>AMBIENTALES</b>	
<b>NOMBRE</b>	<b>UNIDADES</b>
Ozono (O <sub>3</sub> )	PPM
Monóxido de Carbono (CO)	PPM
Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	PPM
Oxido de Nitrógeno (NO)	PPM
Dióxido de Nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	PPM
PM10	µg/m <sup>3</sup>

**Tabla II-1 Variables a monitorear.**

El microcontrolador 80C196KC de la familia INTEL es la unidad encargada de coordinar cada uno de los elementos del sistema. Tendrá la tarea de determinar en qué momento deberán tomarse las muestras y por cuánto tiempo; procesar los datos adquiridos (previamente convertidos); transferir los promedios al banco de memoria, además de poder conducir datos al bus de salida de la tarjeta.

El sistema contempla un módulo de entrada y salida de datos digitales, permitiéndole, con ello, una mayor flexibilidad para posibles interconexiones con otros sistemas.

Tanto los monitores meteorológicos, como los analizadores ambientales, que transforman los parámetros de interés en señales de tipo eléctrico, deben cumplir con las normas que la US-EPA ha establecido para tales fines. Estos módulos entregan una señal analógica, como ya se mencionó, a los multiplexores y que es proporcional a la magnitud de la variable física. Una vez hecho esto, el valor es convertido a una palabra digital que puede ser procesada por el microcontrolador.

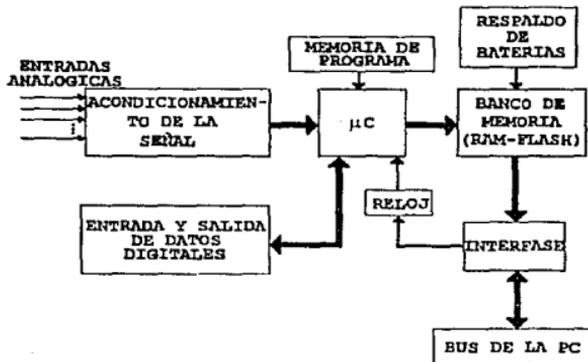


Figura II-2 Diagrama de bloques del sistema.

Existe una unidad de tiempo en el sistema que hace la función de reloj e indica en qué momento deben ser tomadas las muestras (vía microcontrolador). El watchdog time-keeper DS1286 es el dispositivo que se utiliza para esta tarea. Además, una ventaja importante es la de poder cambiar los tiempos de muestreo mediante la reprogramación del watchdog. Esto es valioso en virtud de que aunque el sistema originalmente es programado para adquirir muestras dentro de los rangos que la US-EPA establece, el usuario puede cambiarlos de acuerdo a sus necesidades.

Una parte importante en el sistema lo constituye la unidad de memoria. El datalogger cuenta con un banco de memorias RAM para el almacenamiento de los datos promediados por minuto y por períodos de 15 minutos. Este banco cuenta con un respaldo contra pérdida de potencia, haciendo con esto un módulo de memoria no volátil.

La utilización de memorias tipo FLASH para el almacenamiento de datos promediados horarios, permite una gran ventaja, gracias a la capacidad de gran volumen de almacenamiento (en el diseño se contempla la utilización de la memoria 28F008SA de intel, cuya capacidad es de 1 Mbyte), entre otras características inherentes a este tipo de memorias.

La unidad de memoria de la tarjeta es compartida por la PC, esto es, cuando la computadora requiera del uso de los datos promediados, se puede acceder a esta unidad y hacer una transferencia de información a la memoria de la PC y hacer entonces una interpretación y manejo de los datos. Para tal efecto, se usa una arquitectura de interfase basado en memorias doble puerto, mediante las cuales los buses de datos y direcciones

tanto de la PC como de la tarjeta, tienen la capacidad para acceder los datos del banco de memoria.

En lo referente a las decodificaciones de direcciones, el sistema hace uso de tecnología GAL; aprovechando las ventajas que esta tecnología ofrece se puede ahorrar espacio y costo, factores de importancia para un diseño de ingeniería.

### **II.3. ANALIZADORES AMBIENTALES Y MONITORES METEOROLÓGICOS.**

La importancia de los analizadores ambientales y de los monitores meteorológicos radica en el hecho de ser los responsables de convertir los parámetros físicos a señales eléctricas que se conectan al datalogger, representando, por tanto, el punto de partida en el análisis de las variables de interés. Las características de linealidad, resolución y velocidad, son importantes para estos dispositivos pues son indicadores de la calidad de los datos entregados al sistema de adquisición.

El objetivo de este apartado es precisamente resaltar las cualidades de los instrumentos utilizados para el monitoreo de las variables ambientales y meteorológicas.

#### **II.3-a Analizadores ambientales.**

En la actualidad, los analizadores ambientales utilizan diferentes métodos para su operación, sin embargo, los fabricantes se apegan a los métodos de referencia que la US-EPA ha aceptado para tales fines (ver Apéndice B), o en su defecto con métodos equivalentes.

A continuación se reseña brevemente los posibles métodos de medición para los contaminantes.

##### **- Monóxido de carbono.**

La medición del monóxido de carbono (CO) en el medio ambiente, de las fuentes móviles y estacionarias se efectúa con mayor frecuencia empleando el principio de la absorción infrarroja no dispersiva, la cromatografía gaseosa combinada con un detector de ionización de la flama, y la oxidación catalítica. En esta última, la técnica usual es la de medir la diferencia de temperatura entre una celda en la que ocurre la oxidación y una celda similar donde no ocurre oxidación. La magnitud de la diferencia de temperatura, registrada por los termopares, constituye una indicación de la concentración del CO en la corriente gaseosa. Para la oxidación del CO, el catalizador es usualmente la Hopcalita, que es una mezcla de  $MnO_2$  y  $CoU$ , a pesar de que se puedan utilizar otros catalizadores.

### **- Dióxido de azufre.**

Entre los métodos más importantes que utilizan los instrumentos para el monitoreo continuo de  $\text{SO}_2$  se encuentran los siguientes: conductividad, colorimetría, técnica infrarroja no dispersiva, coulombimetría, espectrofotometría de la flama, electroquímica y los núcleos de condensación.

Entre las características más importantes que se requieren en estos instrumentos se pueden citar las siguientes: a) sensibilidad, dado que el nivel de  $\text{SO}_2$  en zonas no urbanas es alrededor de 0.5 ppb o menos; b) no interferencia por otras sustancias en la muestra de gas, como generalmente sucede (si no se toman las medidas necesarias para vencer estas dificultades) con los métodos coulombimétricos y en los detectores fotométricos de flama.

### **- Oxidos de nitrógeno.**

Se utiliza un cierto número de principios básicos en los instrumentos para la detección de  $\text{NO}$  y  $\text{NO}_2$  en el aire ambiental o procedentes de fuentes estacionarias y móviles. Entre ellos se encuentran la colorimetría, coulombimetría, electroquímica, quimoluminiscencia y absorción infrarroja no dispersiva, visible y ultravioleta.

La absorción infrarroja no dispersiva se utiliza para el monitoreo de la fuentes estacionarias y móviles, pero no para el aire ambiental. No obstante, la quimoluminiscencia constituye una técnica apropiada para las tres situaciones. La medición del aire ambiental también se puede realizar por medio de dispositivos colorimétricos y coulombimétricos. Los monitoreos de las fuentes estacionarias hacen también un uso apropiado de la celda electroquímica, así como de la absorción no dispersiva, visible y ultravioleta.

### **- Oxidantes fotoquímicos.**

La quimoluminiscencia constituye el principal método para monitorear los oxidantes fotoquímicos en la atmósfera, a pesar de que algunos instrumentos comerciales se basan en principios colorimétricos o coulombimétricos. Las mediciones de oxidantes deberán corregirse para la presencia de  $\text{NO}_2$  y  $\text{SO}_2$  y los valores que resulten constituyen primero una indicación de la concentración de ozono. Es posible controlar el ozono y el monóxido de nitrógeno atmosférico por medio de una reacción quimoluminiscente a baja presión entre el monóxido de nitrógeno y el ozono.

### **- Hidrocarburos.**

El principal dispositivo de detección para los hidrocarburos se basa en la ionización por flama. Se utiliza solo o precedido por la cromatografía de gases. A pesar de no ser aplicable al monitoreo del aire ambiental, la absorción infrarroja no dispersiva es aplicable a la detección de hidrocarburos procedentes de fuentes estacionarias y móviles. Un instrumento detector de ionización por flama evalúa los hidrocarburos totales; no separa las especies individuales de los hidrocarburos. Cuando sea necesario conocer las especies individuales, o se quiera separar los componentes de metanos, una cromatográfica de gas precedente

**CONSIDERACIONES Y PRINCIPALES ELEMENTOS DEL SISTEMA**

es necesaria. Este método de operación requiere muestreo intermitente, más bien que muestreo continuo.

VARIABLE	METODO	RESOLUCION	PRECISION	LIM. MIN. DETECTABLE	TMPO. DE RETRASO
NO <sub>2</sub>	QUIMOLUMINISCENCIA	10 BITS	± 0.5 PPB	0.5 PPB	
O <sub>3</sub>	FOTOMETRIA	10 BITS	0.002 PPM	0.002 PPM	10 S.
CO	ABSORCION INFRARROJA NO DISPERSIVA	10 BITS	± 0.1 PPM	0.1 PPM	
SO <sub>2</sub>	ESPECTROFOTOMETRIA	10 BITS	0.005 PPM	0.002 PPM	10 S.

**Tabla II-2 Analizadores ambientales.**

Una de las compañías internacionales dedicadas a la fabricación de estos equipos es Thermo Electrón Co., la Tabla II-2 ilustra las principales características de sus analizadores.

Uno de los parámetros que debe apreciarse con cuidado es el referente al tiempo de retraso. Este parámetro se refiere al tiempo que debe transcurrir desde que es tomada la muestra que quiere ser analizada hasta que el analizador tiene a su salida el nivel analógico correspondiente. En la tabla se puede apreciar que tanto para el analizador de ozono como de bióxido de azufre este tiempo es de 10 s., este tiempo (inherente al equipo de medición) representa una limitante en los tiempos de muestreo, esto es, si se quisiera muestrear estos parámetros en un período menor a 10 segundos, sería imposible dado que el equipo necesita este tiempo como mínimo para realizar su trabajo.

**- PM10.**

La compañía Wedding & Associates Inc., en su modelo PM10 BETA GAUGE monitorea las partículas con un diámetro menor a 10  $\mu$ m. El rango de operación es programable entre 2  $\mu$ g/m<sup>3</sup> y 10000  $\mu$ g/m<sup>3</sup> correspondientes a una salida de voltaje escalable de 0 a 5 volts. El principio de operación esta basado en la radiación de ondas Beta (de ahí el nombre). Durante un período de 50 minutos las partículas colectadas son depositadas en una cinta-filtro que es expuesta a la circulación del flujo de aire muestreado (este dispositivo cuenta con un cabezal de diseño exclusivo que impide la entrada de partículas mayores a 10 micras). Una vez hecho esto, la cinta es expuesta a una fuente emisora de radiación Beta

basada en el C14 (cuyo nivel de radiación no es peligroso para el ser humano) y mediante un sensor de estado sólido de emisión beta se pueden cuantificar la cantidad de partículas, convertida finalmente a  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

El analizador cuenta con un convertidor digital-analógico de 12 bits (DAC1210) a su salida y tiene un nivel mínimo detectable de  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Otro equipo también utilizado para la medición de partículas PM10 es el TEM 1400 de Rupprecht & Patashnick Co.

### II.3-b Monitores meteorológicos.

Las estaciones encargadas del monitoreo de las variables meteorológicas para estudios de contaminación ambiental son calificadas por la Organización Mundial Meteorológica (WMO) como especiales, ya que, de acuerdo a la clasificación que hace de las mismas, se encarga de la observación y estudio de fenómenos y elementos específicos que ayudan al análisis del tema de interés, en este caso la contaminación atmosférica, siendo de tipo temporal y en muchos casos permanente.

Con excepción del medidor de precipitación, los monitores que se presentan a continuación son específicamente de la marca Campbell Scientific Inc. Dicha compañía tiene como característica utilizar sensores de otras compañías como Met-One, Vaisala, Fenwall Electronics, entre otras, para crear módulos con características recomendables para los dataloggers que la misma compañía diseña (en particular, para los modelos CR10, 21X y CR7).

- **Temperatura y humedad relativa.**- La punta de prueba del modelo HMP35C contiene un sensor capacitivo de humedad relativa de la marca Vaisala y un termistor UUT51J1 de Fenwall Electronics. Está diseñado para ser contenido dentro de un plato protector de radiación solar, con una longitud de cable estándar de 10 ft.

En el caso del sensor de temperatura, uno de los principales factores de error en la medición está relacionado con la precisión del puente de resistencias (que tienen una tolerancia de 0.1% con coeficiente de temperatura de 10 ppm). En el peor de los casos (sumando todos los posibles errores) el medidor tiene una exactitud de  $\pm 0.4^\circ\text{C}$  sobre el rango de  $-33^\circ\text{C}$  a  $48^\circ\text{C}$ .

Para el caso del sensor de humedad relativa (H.R.) las características son las siguientes: el rango de su señal de salida es de 0.002 a 1 VDC para un rango de 0 a 100% de H.R. con una exactitud de  $\pm 1\%$ . Tiene una dependencia con la temperatura de  $\pm 0.04\%$  H.R./ $^\circ\text{C}$  y consume menos de 4 mA.

- **Dirección del viento.**- La veleta de viento 024 de Met-One mide la dirección del viento desde 0 hasta 360 grados, con una exactitud de 5 grados. El principio de operación

## CONSIDERACIONES Y PRINCIPALES ELEMENTOS DEL SISTEMA

de este dispositivo se basa en una resistencia variable, cuyo valor depende de la posición de la veleta; por lo que al energizar al potenciómetro, se obtendrá un voltaje en el cursor que es función de la dirección del viento.

La velocidad del viento deberá ser suficiente para vencer el par mecánico de la estructura del sensor de dirección del viento que en este dispositivo dicho umbral de velocidad es de 0.447 m/s.

Otras características de este sensor son: el valor de la resistencia es de 0 a 10 K $\Omega$ , pesa 680 gr. y, su rango de temperatura de operación es desde -50 °C hasta 70 °C.

**-Velocidad del viento.-** El anemómetro 014A de Met-One mide la velocidad del viento en el rango de 0 a 45 m/s, con una exactitud de 1.5%. Este dispositivo tiene 3 cazoletas que son movidas por el viento, cuyo par es proporcional a la velocidad del mismo. El instrumento funciona bajo el principio del switch de boquilla activada magnéticamente, la frecuencia que se obtiene será, por tanto, función de la velocidad. Finalmente, la frecuencia es convertida a unidades de voltaje.

Al igual que la veleta, el anemómetro define una velocidad umbral del viento para vencer el par de arranque de 0.45 m/s. El rango de temperatura de este dispositivo se ubica de -50 °C a 70 °C y pesa 680 gramos aproximadamente.

**- Presión.-** El sensor de presión barométrica PTA-427 ha sido diseñado para ser instalado en el mismo lugar donde se instala el datalogger, sitio que deberá estar abierto a la atmósfera.

Este dispositivo utiliza un sensor de presión tipo capacitivo de silicio de Vaisala. Tiene una salida lineal de 0 a 5 volts correspondientes a un rango de 800 a 1061 milibars (para un rango de temperatura de operación de -40 °C a 60 °C) con una exactitud de  $\pm 0.3$  mb para el modelo PTA-427 y de  $\pm 0.6$  mb para el PTA-427A. Además, se provee un divisor

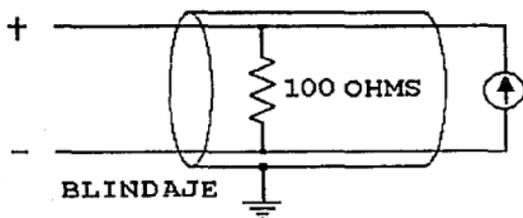


Figura II-3 Sensor de radiación solar.

## CONSIDERACIONES Y PRINCIPALES ELEMENTOS DEL SISTEMA

de voltaje entre 2 para obtener una salida de 0 a 2.5 volts, rango de voltaje ideal para ciertos dataloggers.

- **Radiación solar.**- El sensor de radiación solar LI200S de LICOR tiene una salida de voltaje de 0 a 10 mV y que es proporcional al nivel de radiación (también depende de la calibración del mismo sensor). La Figura II-3 muestra el modelo equivalente del sensor. El valor de la fuente es proporcional al nivel de radiación sobre el sensor. Este nivel de corriente es transformado a un nivel de voltaje mediante la resistencia de 100  $\Omega$ , siendo función del nivel de radiación sobre el sensor.

- **Precipitación.**- El modelo 50202 de R.M. Young Company es un dispositivo que colecta y mide la precipitación, teniendo como característica no tener partes móviles. El sensor tipo capacitivo, además del bajo consumo de potencia del circuito de medición (menos de 3 mA) produce una salida de voltaje calibrada de 0 a 5 VDC proporcional al rango de 0 a 50 mm de precipitación pluvial.

Este dispositivo permite coleccionar y derretir nieve dando una medida de precipitación equivalente gracias a sus calentadores controlados termostáticamente (cuya potencia es de 48 W @ 28 V AC o DC).

Por su construcción termoplástica y debido a la ausencia de partes móviles, hacen que este sensor sea inmune a la corrosión y a la malfunción mecánica. Además, dado que el sensor capacitivo no es afectado por condiciones inestables de posición, permite utilizar este instrumento sobre superficies móviles como boyas o embarcaciones.

## II.4 TIEMPOS DE MUESTREO Y PROMEDIOS ESCALAR Y VECTORIAL

### II.4-a Tiempos de muestreo.

La US-EPA ha desarrollado, a lo largo de varios años, una ardua investigación para llegar a establecer normas y estándares de medición, almacenamiento y reportes de variables ambientales (entre otras cosas). En México no se ha desarrollado un exhaustivo estudio en esta área y, aunque existen normas ya establecidas, éstas se han obtenido en base a los estudios de la US-EPA. Por lo tanto, la presente investigación se ha fundamentado en las normas asentadas por dicho organismo.

En cuanto a los periodos de muestreo de variables ambientales, la US-EPA establece que:

"...(1) Todo sistema de monitoreo continuo de medición de emisiones que influyen en la opacidad ambiental, debe completar un mínimo de un ciclo de muestreo y análisis por

## CONSIDERACIONES Y PRINCIPALES ELEMENTOS DEL SISTEMA

cada período de 10 segundos; y un ciclo de almacenamiento de datos por cada período de 6 minutos.

(2) Todo sistema de monitoreo continuo para mediciones de emisiones, excepto opacidad, deben completar un mínimo de un ciclo de operación (muestreo, análisis y almacenamiento de datos) por cada período sucesivo de 15 minutos ..." [4].

Como se puede apreciar, el monitoreo de las variables que influyen en la visibilidad ambiental, se debe realizar cada 10 segundos, mientras que las emisiones distintas a éstas se deben muestrear, al menos, cada 15 minutos. Por otra parte, mientras mayor sea el número de muestras, la probabilidad de error va a ser menor, por lo que se puede realizar el muestreo de todas las variables ambientales cada 10 segundos y con ello se trabaja dentro de las normas establecidas. En este punto es interesante recordar las reglas de la técnica de muestreo:

1.- Cuanto mayor es la muestra, menor es la dispersión de las medias en torno a la media del colectivo, que es la media de las medias de todas las muestras.

2.- Cualquiera que sea la forma del histograma del colectivo del que se toma una muestra, el histograma de los valores de las medias de las muestras tiende a tener una moda central que contiene a la media del colectivo.

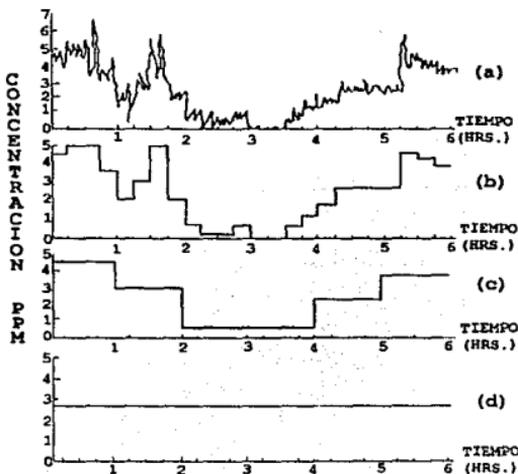


Figura 11-4 Diferentes períodos de muestreo.

En la Figura II-4 se muestra la misma variable atmosférica medida por (a) un instrumento de respuesta rápida, realizando promedios cada (b) 15 minutos, (c) 1 hora, y (d) 6 horas. En dicha figura se puede apreciar la importancia de una buena selección, tanto del período de muestreo, así como del lapso entre la elaboración de promedios.

Ahora, considerando las variables meteorológicas, la más crítica en el estudio del medio ambiente es el viento. En estudios experimentales se ha determinado que el período de muestreo más adecuado para la magnitud y dirección del viento es de un segundo. En cuanto a la humedad, como afecta la opacidad, se debe tomar una muestra, por lo menos, cada 10 segundos. Tanto la temperatura, presión y radiación solar, no presentan cambios tan rápidos como los que puede presentar el viento, por lo que es posible muestrearlas cada 10 segundos (que es el período de muestreo establecido, en este estudio, para las variables ambientales).

### **II.4-b Promedios escalar y vectorial.**

Un promedio se puede definir como el valor medio de una serie de cantidades, determinado mediante el cociente de la suma de éstas entre el número de ellas.

#### **Promedios escalares.**

Cuando se quiere obtener el promedio de una variable escalar, se puede determinar con la definición anterior, ya que una variable escalar representa, únicamente, magnitud. Este es el caso de todas las variables que se van a monitorear en el presente trabajo, excepto por el viento.

#### **Promedios vectoriales.**

Una variable vectorial, como su nombre lo indica, es aquella que se puede representar mediante un vector, por lo que tiene asociada una magnitud, una dirección y un sentido.

Un vector se puede definir mediante su magnitud (módulo) y su ángulo (argumento).

Para obtener el promedio de una variable vectorial se calcula el promedio por componente, es decir, se determinan los promedios de los efectos del viento tanto en la componente en X como en la componente en Y.

Es importante hacer dos aclaraciones en este punto:

- Primero, la referencia X para la velocidad del viento es el Norte geográfico.

---

\* Comunicación personal del Dr. Héctor G. Riveros Rotge, Instituto de Física, UNAM, Junio 1993.

## CONSIDERACIONES Y PRINCIPALES ELEMENTOS DEL SISTEMA

- Segundo, que existe una desviación entre el Polo geográfico y el Polo magnético terrestre. Los polos geográficos están situados sobre el eje de rotación de la Tierra mientras que los polos magnéticos se sitúan a más de 1,500 kilómetros de estos puntos en ambos hemisferios.

Los polos magnéticos no están diametralmente opuestos. El eje magnético de la Tierra pasa a unos 1,200 kilómetros del centro de la misma.

Para especificar completamente el campo magnético terrestre en cualquier punto, es necesario determinar a la vez su dirección y su intensidad.

Las medidas muestran que en general el campo magnético terrestre no es horizontal sino que posee una cierta inclinación. En un punto dado, el plano vertical que contiene la dirección del campo magnético se llama meridiano magnético (Figura II-5.a).

Si se supone que la flecha PQ indica la intensidad (F) y la dirección del campo magnético en un punto P. El plano vertical que contiene PQ es por lo tanto el meridiano magnético en P.

El ángulo D entre el meridiano magnético y el geográfico se llama declinación magnética en P. Este ángulo D indica el ángulo que la aguja imantada de una brújula forma con la dirección del norte geográfico o norte verdadero.

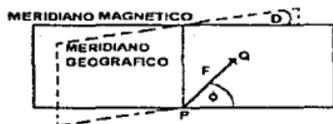


Figura II-5.a Meridianos magnético y geográfico.

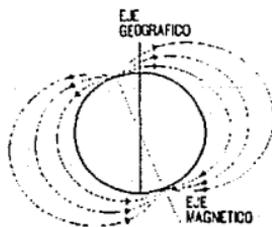


Figura II-5.b Desviación entre los polos.

Por lo que, cuando se instala un equipo, se debe especificar dicha desviación para el sitio en cuestión (Figura II-5.b).

Transformación de voltaje a unidades correspondientes.

Las señales que se van a trabajar en el sistema son de voltaje, por lo que se ve la necesidad de "traducir" dichos voltajes a las unidades correspondientes, según sea el caso.

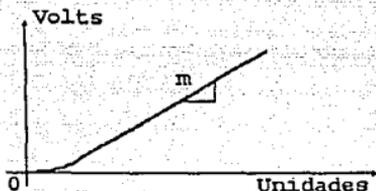


Figura II-6 Error de linealidad en los monitores de velocidad del viento.

Los instrumentos de medición proporcionarán estas señales de voltaje, las cuales, en su mayoría, presentan linealidad en todo el rango de voltaje (analizadores de  $O_3$  y  $SO_2$  pueden medir desde 2 ppb sin alinealidad). Sin embargo, en los monitores de velocidad del viento existe una cierta no linealidad para velocidades muy pequeñas (debida al propio acoplo mecánico del instrumento). En general, se puede representar esta no linealidad como se muestra en la Figura II-6.

En dicha curva, tanto la pendiente, como la ordenada al origen, son datos que proporciona el fabricante, por lo que son independientes para cada equipo.

## II.5 USO DE SWITCHES ANALOGICOS CON PROTECCION CONTRA PERDIDA DE POTENCIA.

Para seleccionar el canal de entrada, de la señal de voltaje proveniente de los analizadores que vá a digitalizarse en un determinado instante, se requiere del uso de switches analógicos con ciertas características especiales.

La mayoría de los sistemas que combinan circuitos analógicos y digitales (híbridos) requieren switches analógicos, los cuales conmutan entre las señales analógicas de entrada de voltaje, mientras que el control de cerrar o abrir el switch está a cargo de señales digitales.

Entre las especificaciones que se deben considerar, debido a que causan errores, cuando se utilizan switches analógicos son: la resistencia en estado encendido, la corriente de fuga y la inyección de carga.

Además, la capacitancia y la resistencia en estado encendido influyen directamente en la velocidad del switch. Entre menor sean estos valores, se podrán obtener mayores velocidades de muestreo.

De las principales aplicaciones del switch analógico se tiene: multiplexaje, circuitos de muestreo y retén (*Sample & Hold*), y conversión digital-analógica. La principal aplicación de los switches analógicos en los SADs, se encuentra en el multiplexaje de las señales de voltaje de entrada. Las consideraciones técnicas de ésta son descritas a continuación.

### **II.5-a Multiplexaje con switches analógicos.**

El multiplexaje se define como la conexión de un cierto número de señales analógicas (en éste caso), una a la vez, a una carga común.

Cuando se vá a multiplexar un gran número de canales, es necesario agrupar múltiples multiplexores para llevar a cabo dicha tarea. Esto se logra conectando juntas las salidas de todos los multiplexores para formar una sola. El problema de esta técnica es que la capacitancia de drain de cada multiplexor es conectada en paralelo, por lo que la capacitancia de drain total resulta ser muy alta. Esta capacitancia de drain puede provocar incrementos en la constante de tiempo RC, lo cual provocaría un mal funcionamiento del circuito. Dos o tres niveles de multiplexado, es una técnica que permite agrupar multiplexores con una reducida capacitancia de salida.

### **II.5-b Latch-up.**

"LATCH-UP" es un fenómeno que se caracteriza por un repentino y considerable incremento en el consumo de corriente, seguido de una de dos cosas: o la fuente se desconecta por medio de un "breaker", o el CI genera una gran cantidad de calor hasta que el chip se destruye, este fenómeno ocurre a menudo en algunos tipos de switches analógicos, de ahí la importancia de tratar este tema.

El fenómeno de "LATCH-UP" puede ser entendido en términos de uniones bipolares parásitas que ocurren en switches monolíticos. La Figura II-7 muestra una sección de un switch de compuerta metálica CMOS. Dos transistores bipolares parásitos están presentes, Q1 y Q2. Q1 es NPN y está presente en el MOSFET canal N, y Q2 es un PNP situado entre los dispositivos de canal N y canal P. El circuito equivalente formado por estos transistores crean un SCR (PNPN). Bajo condiciones anormales, una o más de las uniones p-n en el SCR pueden llegar a polarizarse en directa, lo cual activará el SCR. El SCR entonces drena

## CONSIDERACIONES Y PRINCIPALES ELEMENTOS DEL SISTEMA

una gran cantidad de corriente directamente de  $V+$  a  $V-$  (o tierra), con la resultante disipación de potencia en el circuito, pudiendo causar la destrucción del mismo.

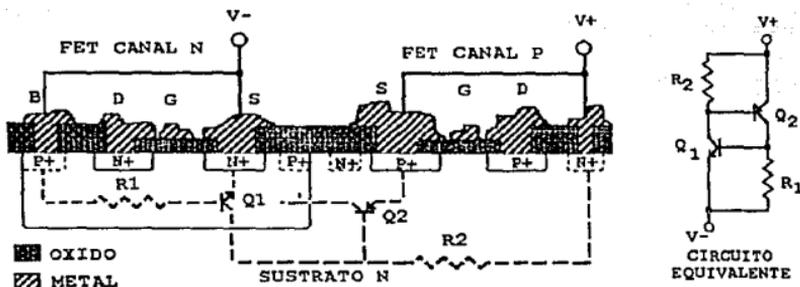


Figura II-7 Fenómeno de LATCH-UP.

Una de las mejores soluciones a este problema está íntimamente relacionado con el diseño del proceso del switch analógico. Algunos fabricantes utilizan una configuración "buried layer", en la cual un elemento  $p+$  es aumentado entre el  $p-$  y el sustrato. Esta configuración reduce el producto de las betas de los transistores bipolares parásitos a menos de uno, haciendo imposible que se active el SCR.

### II.5-c Protección contra sobrevoltaje.

Es recomendable no trabajar con señales que sean de mayor amplitud que la fuente de suministro del sistema. "Picos" (*spikes*) de voltaje provocados por una elevada inductancia de la línea, grandes voltajes de modo común, u otras fallas pueden destruir un switch analógico si no está propiamente protegido.

Técnicas de protección de switches contra sobrevoltaje han sido desarrolladas, tanto a nivel del circuito integrado, como a nivel de usuario. Las técnicas de CI tienden a degradar la resistencia de encendido del switch, además de que hacen que la fabricación del switch sea más costosa. Las técnicas a nivel de usuario le permiten decidir al mismo, que tanta sofisticación necesita para la protección en su sistema, pero con esta solución se necesitan componentes y espacio extras en la tarjeta.

II.5-d Protección contra pérdida de potencia.

Un esquema como el de la Figura II-8, en el que se utilizan tres MOSFETs en serie, se utiliza para proteger al circuito de fallas en una o más de las fuentes de suministro del sistema mientras está presente una señal de entrada. Hay dos desventajas en esta arquitectura. Una es la reducción en el rango de la señal analógica de entrada. La otra es el incremento en la resistencia de encendido que resulta por el uso de tres FETs en lugar de uno.

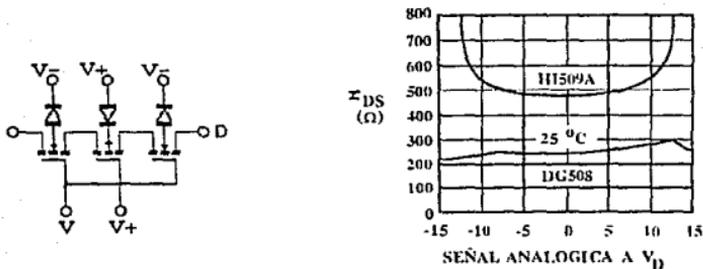
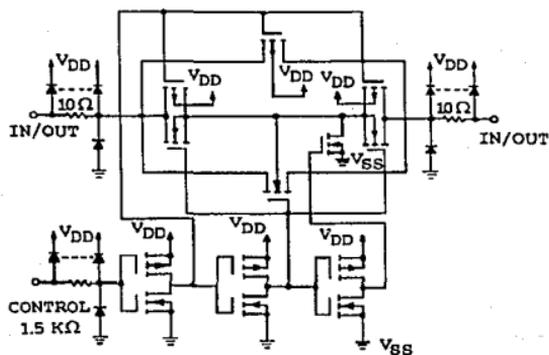


Figura II-8 Configuración de protección.

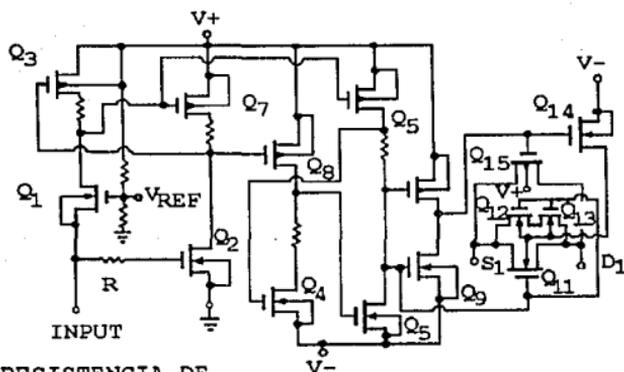
Existen diferentes filosofías para realizar switches analógicos en Circuitos Integrados. En la Figura II-9 se presentan dos de ellas.

En la primera se puede observar que cuando se tiene una pérdida de potencia ( $V_{DD}$ ), y se mantiene el voltaje de entrada ( $V_{in}$ ), el diodo que está entre dichos pines se polariza en directa, por lo que los MOSFETs se pueden dañar (lo cual ocurre en la mayoría de las ocasiones).

Por otra parte, en la segunda configuración, el circuito ha sido protegido contra pérdida de potencia, además de que se ha eliminado el efecto destructivo de "latch-up". Diversos fabricantes (entre ellos HARRIS) se han inclinado por esta configuración.



(a)



R=RESISTENCIA DE PROTECCION DEL GATE

(b)

Figura II-9 Diagrama esquemático de diferentes switches: (a) MC14066B de Motorola (b) DG201 de Harris.

**II.6 ERRORES Y CONSIDERACIONES POR LA PRESENCIA DE LOS CANALES ANALOGICOS EN LA TRAYECTORIA DE LA SEÑAL A MUESTREARSE.**

Una manera de obtener mediciones de voltaje muy precisas es con entradas diferenciales. El switcheo de señales diferenciales provee la precisión requerida, lo cual permite que las señales de error de modo común, como "picos" de AC debidos a transformadores, sean canceladas por un amplificador diferencial.

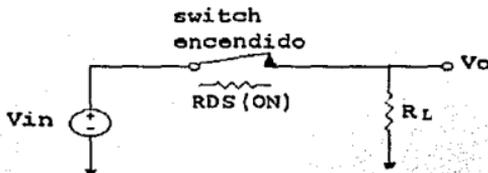
Multiplexores diferenciales son arreglos de switches que facilitan el manejo de señales diferenciales.

Un switch analógico se puede representar, para fines de análisis, por medio de su resistencia de encendido [ $R_{ds(ON)}$ ].

Entre las principales características de un switch analógico están la resistencia de encendido y las corrientes de fuga.

Las variaciones en la resistencia de encendido resulta en errores de ganancia y offset, entre otros problemas.

Si se pudiera encontrar un switch analógico con cero resistencia de encendido y cero corrientes de fuga, sería ideal para aplicaciones de alta precisión. Sin embargo, esto es imposible, ya que todos los switches analógicos tienen resistencia de encendido, corrientes de fuga, ruido en corrientes y voltajes, debidos a la temperatura y a otros factores ambientales.



**Figura II-10 Error debido a  $R_{DS(ON)}$ .**

**II.6-a Errores debidos a la Resistencia de Encendido.**

Los switches analógicos tienen una resistencia de encendido finita que crea una caída de voltaje cuando la corriente circula por el canal (Figura II-10). Esta caída de voltaje es considerada como un error de voltaje, debido a que causa que la salida de voltaje sea menor que la que se esperaría con un switch ideal. La clave para resolver éste problema es poder predecir el efecto en circuitos de precisión, y determinar como compensarlo para que dicho error afecte lo menos posible a la precisión del sistema. Como se puede apreciar en la Figura II-10, el error debido a  $R_{DS(ON)}$  es una función de la corriente de carga. La corriente de carga se incrementa con decrementos en el valor de  $R_L$ . Una manera de minimizar el efecto de la resistencia de encendido es asegurar que el switch "vea" una alta resistencia de carga. Esto es realizado algunas veces conectando la salida del switch a un amplificador seguidor, como en la Figura II-11.

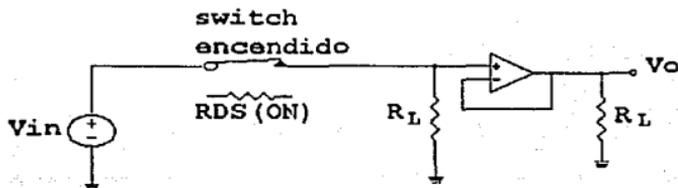


Figura II-11 Arreglo con un amplificador seguidor.

**II.6-b Variaciones en la Resistencia de Encendido.**

Además del error de la caída de voltaje debido a la resistencia de encendido, las variaciones de la resistencia de encendido tienen que ser consideradas en diseños de sistemas de precisión. La resistencia de encendido de un switch analógico puede variar hasta en un 10% con cambios en el rango de la señal analógica. También existe una dependencia de la resistencia de encendido con la fuente de voltaje y la temperatura. Estas variaciones pueden provocar al sistema no linealidades, distorsión, errores de ganancia y offset.

**Variaciones con respecto al Voltaje de Entrada.**

La resistencia de encendido de un switch tipo FET canal n tiene una dependencia con el voltaje de drain, como se muestra en la Figura II-12. El FET de enriquecimiento canal n es encendido al tener su gate a  $V+$ . La resistencia de encendido es mínima cuando se aplica al transistor un voltaje máximo gate-source. Esto ocurre cuando el drain está a  $V-$ . Con voltajes de polarización de 15V, el voltaje gate-source es 30 V en este punto, y el canal está a su máxima conductividad. Como el FET está encendido y el source no tiene carga, el

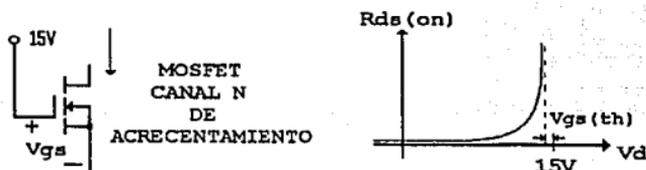
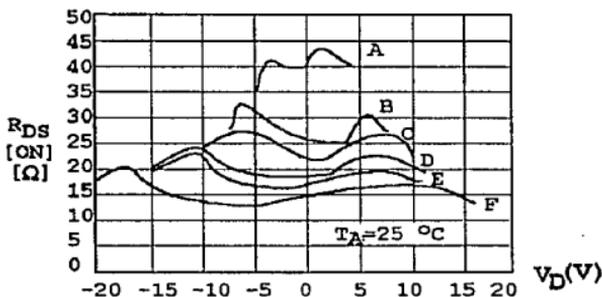


Figura II-12 Curva del MOSFET de acrecentamiento N



A	$V = + / - 5 \text{ V}$	D	$V = + / - 12 \text{ V}$
B	$V = + / - 8 \text{ V}$	E	$V = + / - 15 \text{ V}$
C	$V = + / - 10 \text{ V}$	F	$V = + / - 20 \text{ V}$

Figura II-13 Variación de  $R_{DS(ON)}$  respecto a  $V_D$ .

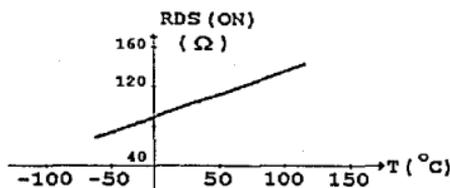
voltaje de source es igual al voltaje de drain. Sin embargo, como el voltaje de drain se incrementa hacia  $V+$  el voltaje de gate-source decrece, resultando un incremento en la resistencia de encendido. Esto continúa hasta que el voltaje de drain alcanza un umbral debajo de  $V+$ , punto en el cual se apaga el FET. Como este umbral del FET es típicamente 1.5 V, la resistencia de encendido se incrementa hasta infinito en 13.5 V.

Un switch CMOS es creado colocando un FET canal p en paralelo con uno de canal n. El FET de canal p tiene mínima resistencia (máxima conductividad) cuando el canal n está apagado, y viceversa.

La mínima variación de la resistencia de encendido ocurre con grandes voltajes de polarización (Figura II-13).

CMOS no es la única tecnología usada en el diseño de switches analógicos de precisión. Switches JFETs han sido diseñados para pequeñas variaciones, a costa de reducir el rango de voltajes analógicos de entrada.

El switch JFET tiene pequeñas variaciones en su resistencia de encendido con respecto al rango de voltajes analógicos aplicados entre D y S, debido a que el voltaje gate-source permanece constante a 0 V a través de todo el rango de voltajes analógicos de entrada. Sin embargo el inconveniente de este diseño, es que el switch tiene un limitado rango de voltajes analógicos, aproximadamente de -7.5 V a +15 V, debido a que el switch no permanecerá apagado con la señal analógica cercana al voltaje de estrangulamiento del FET (lejano a V-).



**Figura II-14** Coeficiente de temperatura de RDS(ON)

#### Variaciones con respecto a la Temperatura.

La variación de la resistencia de encendido con respecto a la temperatura, también conocida como TCRDS(ON), es mostrada en la Figura II-14 para un switch CMOS. TCRDS(ON) es típicamente alrededor de 0.5%/°C. En el rango de -55 °C a +125 °C, un multiplexor analógico como el HI-509A variará típicamente de 1 ohm a 1.36 ohms. Este incremento es monotónico y lineal.

En los switches JFET también existe un TCRDS(ON) monotónico y positivo.

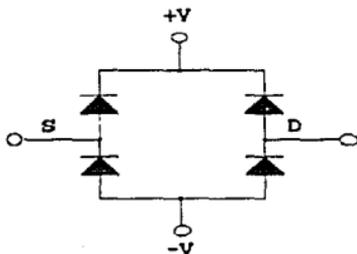
La compensación de temperatura se hace aplicando una señal de polarización (bias) al buffer source-gate. Esta señal de bias tiene como objetivo llevar al FET hacia coeficiente cero de temperatura con los incrementos de temperatura, incrementando el canal de conducción para compensarlo por el incremento en la resistencia de encendido que resulta del incremento de temperatura.

### II.6-c Corrientes de fuga.

Otro de los principales componentes de error en un switch es la corriente de fuga. Los switches analógicos presentan corrientes de fuga en la terminal del source y en la del drain, tanto cuando el switch está apagado como cuando está encendido. La corriente de fuga cuando el switch está apagado es más notable que cuando está encendido, debido a que las corrientes de fuga de encendido y de apagado son similares en magnitud, la impedancia que "vee" la corriente de fuga es menor cuando el switch está encendido, resultando un menor voltaje de error.

Al igual que la resistencia de encendido, la corriente de fuga varía con la temperatura y con los voltajes analógicos aplicados.

Las corrientes de fuga en un switch analógico se deben a la distribución de uniones de polarización en inversa que ocurren en los FETs, la cual se puede modelar mediante un arreglo de diodos (Figura II-15). Las corrientes de fuga se especifican con  $I_D(\text{off})$ ,  $I_S(\text{off})$  e  $I(\text{on})$ . Como cualquier diodo, estas corrientes de fuga son función del voltaje aplicado al source o al drain.



**Figura II-15 Modelo de la corriente de fuga.**

La corriente de fuga se incrementa exponencialmente con la temperatura, como se muestra en la Figura II-16.

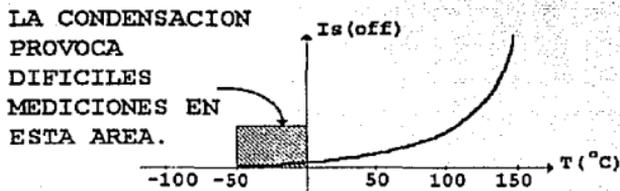


Figura II-16 Corriente de fuga contra temperatura.

## II.7 TECNICAS DE CONVERSION (A/D - D/A)

El desarrollo de sistemas de comunicación, control de procesos industriales, procesamiento de información, etc., requieren del manejo de señales analógicas y/o digitales, lo que hace necesario el desarrollo de sistemas capaces de interactuar entre ambos tipos de señales. Los sistemas digitales proporcionan cada vez mayores ventajas sobre los sistemas analógicos, en lo referente a almacenamiento y procesamiento de información; si se tienen como entradas al sistema señales de tipo analógico es necesario la conversión de señales analógicas a digitales, conversión que se fundamenta en la teoría del muestreo, de señales.

### II.7-a Convertidores Analógico-Digitales.

Un convertidor Analógico-Digital (ADC), es un dispositivo que recibe una señal de entrada,  $V_{ent}$ , y la transforma en una palabra digital,  $PD$ , con una precisión y resolución dadas, mediante una comparación con un voltaje de referencia,  $V_{ref}$ . En un convertidor A/D ideal, la palabra digital está relacionada con la señal de entrada, que está representada por la expresión:

$$PD = \frac{V_{out}}{V_{ref}} = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{\delta_i}{2^i} ; \delta = 0,1$$

Este cociente se realiza en binario. El resultado exacto sería de un número infinito de bits, pero se comete un error de cuantización al tener en cuenta únicamente un número limitado de bits, el cual viene determinado por la capacidad del convertidor A/D. Si éste es de  $n$  bits, se realiza una cuantificación de la señal analógica en  $2^n$  niveles, y el error máximo cometido es de la mitad entre dos niveles, o sea:

$$E_{\max} = \left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{V_{ref}}{2^n}\right)$$

Los convertidores A/D admiten señales analógicas de entrada, de corriente o de voltaje, de una única polaridad (de margen 0 y  $+V$ ) o bipolar (de margen  $+V$  y  $-V$ ). Las características generales de los distintos tipos de convertidores dependen en gran medida de la forma en que se realiza la conversión. Una primera clasificación se puede basar en si la conversión se realiza directamente o se realiza una transformación de la señal de entrada en una variable intermedia que luego se transforma en digital.

A continuación se hace una breve descripción de las principales características de los ADC's más conocidos con el propósito de observar sus posibles ventajas y desventajas y con ello tener un criterio de selección para el diseño que aquí se presenta.

#### **Convertidor Paralelo ó flash.**

En este tipo de convertidor, también conocido como de ráfaga debido a su rápida velocidad de conversión, sus tiempos de conversión son muy pequeños (del orden de nanosegundos), pero su elevado número de elementos de comparación (comparadores de voltaje) en su implementación hace que el sistema sea costoso y en general de pocos bits. No se acostumbra a usar como interfase con microprocesadores estándar debido a la disparidad en velocidades de conversión y procesamiento ó tiempo de ciclo de cada elemento respectivamente; generalmente se acostumbra usar como interfase los ADC's de simple y doble rampa y el de aproximaciones sucesivas.

#### **Convertidor de simple rampa.**

El tiempo de conversión de este tipo de convertidor es regularmente largo y la precisión que se puede obtener no es muy buena, debido a las variaciones de la capacitancia, corriente y frecuencia del oscilador interno a lo largo del tiempo.

**Convertidor de doble rampa.**

También conocido como integrador de doble pendiente, soluciona en gran medida los condicionamientos de precisión en comparación con el de simple rampa, debido a su algoritmo de integración de dos rectas.

**Convertidor de aproximaciones sucesivas.**

Este convertidor es conceptualmente muy sencillo, permite realizar la conversión con rapidez, no exige una realización muy costosa y su tiempo de conversión es del mismo orden que el tiempo de ciclo o de máquina de los microprocesadores estándar. Por su fácil implementación y compatibilidad con microprocesadores, se ha fabricado en años recientes como elemento constituyente de las microcomputadoras o microcontroladores que son los dispositivos monolíticos más usados actualmente.

**Convertidor de seguimiento o rastreo (Tracking).**

También conocido como modulador delta por su funcionamiento en base a incrementos y decrementos en el voltaje de seguimiento, este convertidor tiene una respuesta rápida siempre y cuando las variaciones de la señal analógica de entrada sean pequeñas, lo cual es una limitante en su aplicación.

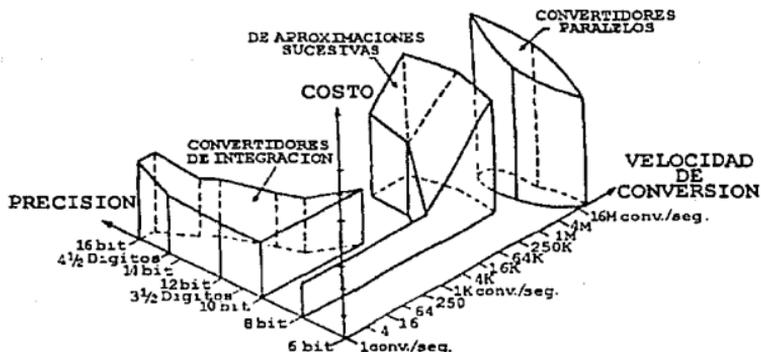


Figura II-17 Comparación costo-velocidad en ADC's.

Por lo anterior, una manera de poder evaluar la selección de un ADC para una aplicación específica, es enfocándose a sus características principales y más sobresalientes, de las cuales se han mencionado algunas anteriormente, y se resumen enseguida:

- Complejidad
- Costo
- Velocidad de conversión
- Precisión.

En la Figura II-17, tales características pueden ser visualizadas más claramente en una representación gráfica comparativa para los diferentes ADC's.

A partir de lo expuesto anteriormente, se puede apreciar que los convertidores de aproximaciones sucesivas cumplen funcional y económicamente con las necesidades que un sistema basado en un microprocesador o microcontrolador, como es en nuestro caso, puede tener, es por ello que el presente sistema considera la utilización de un ADC de aproximaciones sucesivas.

### II.7-b Convertidores Digital-Analógico.

Un convertidor Digital-Analógico (DAC) es un dispositivo que reciben una información digital en forma de una palabra de  $n$  bits, y la transforma en una señal analógica. La transformación se realiza mediante una correspondencia entre  $2^n$  combinaciones binarias posibles en la entrada y  $2^n$  voltajes (o corrientes) discretas obtenidas a partir de un voltaje de referencia  $V_{ref}$ . La señal analógica así obtenida no es una señal continua, sino que se obtiene un número discreto de escalones a consecuencia de la discretización de la entrada. El proceso consiste en hacer una ponderación de cada bit y sumar el resultado de todas las ponderaciones multiplicadas por su valor (0 o 1).

$$V_{sal} = \sum_{i=1}^{\infty} V_{pond. i} \cdot \delta \quad ; \quad \delta = 0,1$$

La ecuación anterior sugiere una realización inmediata, esto significa una aplicación directa de la misma sin más detalle.

#### Especificaciones para convertidores Digital-Analógico.

Ahora consideraremos una serie de parámetros que nos ayudarán a describir la calidad de los convertidores D/A. Por lo general, estas especificaciones son proporcionadas por el fabricante.

## CONSIDERACIONES Y PRINCIPALES ELEMENTOS DEL SISTEMA

- **Resolución.-** Este término se refiere al número de bits que el convertidor puede manejar y, consecuentemente, el número de niveles de voltaje (o corriente) a su salida.
- **Linealidad.-** En un DAC ideal, incrementos iguales en la entrada digital forzosamente conducen a incrementos iguales en la salida analógica. La linealidad de un convertidor sirve como una medida de precisión en donde se puede observar cómo se está cubriendo este requerimiento.

La linealidad de un convertidor depende principalmente de la exactitud de las resistencias. Depende también de la precisión con la cual el voltaje cae a través de los switches. Dado que tanto las resistencias como los voltajes en los switches son dependientes de la temperatura, la linealidad puede ser adversamente afectada por marcados cambios en la temperatura.

- **Exactitud.-** La exactitud de un convertidor se mide a partir de la diferencia entre la salida analógica esperada en el caso ideal y la que es entregada por el convertidor. Los parámetros que influyen de forma directa en la exactitud en un convertidor son: fallas en linealidad, incertidumbres en los voltajes de referencia, ganancias en los amplificadores, offsets en los mismos etc.
- **Error de asimetría.-** Debido a la imperfección de los amplificadores operacionales que se utilizan para la construcción del convertidor, ya que, cuando en la entrada de éste se aplique la combinación nula, el valor de la variable analógica de salida no sea nulo. Al valor de dicha variable en las citadas circunstancias se le suele llamar error de asimetría (offset) porque es debido al voltaje de asimetría de los amplificadores operacionales y representa un desplazamiento de la característica real con respecto a la ideal.
- **Error de ganancia.-** Este error recibe también el nombre de error de escala. La característica real corresponde a una recta que pasa por el origen, pero que no coincide con la bisectriz del primer cuadrante. Puede ser debido especialmente a errores en el voltaje de referencia y se puede corregir mediante un ajuste de la ganancia del amplificador operacional utilizado a la salida del convertidor.
- **Tiempo de asentamiento.-** Cuando la entrada digital cambia en un convertidor, switches se abren y cierran provocando que cambios abruptos de voltaje puedan aparecer. Dada la presencia de las inevitables capacitancias e inductancias en la circuitería pasiva, los transitorios que son creados pueden permanecer por un tiempo apreciable. El intervalo de tiempo comprendido desde el cambio en la entrada, hasta que la salida está lo suficientemente cercana al valor final se denomina tiempo de asentamiento. El tiempo de asentamiento depende, entre otras cosas, en lo que definamos como "suficientemente cerca". Un convertidor de propósito general podría tener un tiempo de asentamiento típico de 500 ns a 0.2% a escala completa.
- **Sensitividad a la temperatura.-** Para cualquier arreglo digital a la entrada, la salida analógica variará con la temperatura. Este efecto de temperatura sobre el dispositivo, es el resultado de los efectos individuales de temperatura sobre los resistores, los amplificadores operacionales, los voltajes de referencia e incluso sobre el offset del amplificador de voltaje.

### Especificaciones para convertidores Analógico-Digital.

Las especificaciones de un ADC, que con mayor frecuencia son proporcionadas por los fabricantes, generalmente incluyen las siguientes:

- Voltaje de entrada analógico.- Máximo rango de voltaje de entrada permisible.
- Impedancia de entrada.- El rango de valores van desde  $1K\Omega$  hasta  $1M\Omega$ , dependiendo del tipo de ADC.
- Exactitud.- Los factores que determinan la exactitud en un ADC incluyen los errores de cuantización, ruido (que también influye en los voltajes de referencia, incluidos en el DAC), características de no linealidad etc.
- Estabilidad.- La estabilidad del sistema es generalmente dependiente de la temperatura. Los coeficientes de error típicos de temperatura son de 20 ppm a plena escala de lectura por grado Centígrado ( $20 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ ).
- Tiempo de conversión.- Los tiempos de conversión generalmente varían desde  $50 \mu\text{s}$ , para unidades de moderada velocidad, hasta  $50 \text{ ns}$  para dispositivos de alta velocidad.
- Formato.- Un ADC por lo general puede dar a su salida un código estándar: unipolar binario, binario con offset, complementado a uno, complementado a dos. Además, los niveles de voltaje de salida son generalmente ajustados para que sean compatibles con algunas familias lógicas (TTL, ECL, etc.).

## II.8 MEMORIAS FLASH.

El uso de memorias flash responde a la necesidad de utilizar memorias que tengan como características: no volatilidad, alta densidad, facilidad de reprogramación y bajo costo. Por supuesto, estas características no son deseables sólo en sistemas de adquisición de datos, sino en muchos otros campos de actividad tecnológica como: el área automotriz, de telecomunicaciones, periféricos para computadoras, control industrial, área militar, bio-médicas, de instrumentación etc.

Hasta la llegada de las memorias flash ninguna de las tecnologías convencionales había podido cubrir con todas las características mencionadas.

En 1988 las primeras memorias flash fueron introducidas al mercado por Intel Co., desde entonces, se han abatido sus costos (uno de los principales defectos de la tecnología en su inicio) como resultado del creciente volumen de producción y la economía inherente a la tecnología de fabricación.

En la Tabla II-3 se muestra una comparación entre las memorias flash y las tecnologías tradicionales.

**CONSIDERACIONES Y PRINCIPALES ELEMENTOS DEL SISTEMA**

CARACTERÍSTICAS	FLASH	SRAM + BATERIA	DRAM + DISCO	EEPROM	OTP/ EPROM	ROM MAS CARADA
no volatilidad	X			X	X	X
alta densidad	X		X		X	X
baja potencia	X			X	X	X
un transistor por celda	X				X	X
reescribible en el sistema	X	X	X	X		
almacena código y datos	X	X	X	X		
alterable por byte		X	X	X		
bloqueo	X	X	X	X		
actualizar sin contacto físico	X	X	X	X		

**Tabla II-3 Comparación de diferentes tecnologías.**

Comparación con las tecnologías tradicionales.

A continuación se describen las características de cada una de las tecnologías tradicionales de memorias y se les compara con las flash de Intel.

## CONSIDERACIONES Y PRINCIPALES ELEMENTOS DEL SISTEMA

- ROM (*read only memory*). Por fabricación, este tipo de memoria es de alta densidad, no volátil, baja en costo y muy confiable; es muy utilizada en sistemas de PCs y microprocesadores en general. Sin embargo, una vez grabada, el contenido de una ROM ya no puede ser alterado, además, para abatir el costo, en el proceso de grabación, requiere un considerable volumen de producción.

La fácil actualización del contenido de una memoria flash la hace claramente más flexible que una ROM en la mayoría de las aplicaciones.

- SRAM (*static random access memory*). Este tipo de memoria es de alta velocidad y reprogramable, pero está limitada por su volatilidad y su relativa baja densidad. Por ser una memoria volátil, la SRAM requiere de un voltaje de alimentación constante para retener su contenido. La implementación de una batería de respaldo dentro de la misma memoria es requerida para ser utilizada cuando la fuente de alimentación primaria es apagada. Dado que las fallas en las baterías de respaldo son función de su vida útil, la pérdida de información en una SRAM es un peligro latente. Además, las memorias SRAM requieren de cuatro a seis transistores para almacenar un bit de información, lo cual la imposibilita para desarrollar altas escalabilidades y provocar, por tanto, un costo relativamente alto.

Por su parte, las memorias flash son no volátiles y su diseño de construcción de un solo transistor por celda les permite una gran escalabilidad permitiendo cada vez mayores densidades y mejorar los costos con respecto a las SRAM.

- EPROM (*electrically programmable read-only memory*). Esta memoria por construcción es no volátil y de alta densidad, además, y a diferencia de la ROM, tiene capacidad para actualizar su contenido. Sin embargo, una vez grabada la EPROM solo puede ser borrada si se expone a la luz ultravioleta, lo cual implica que el dispositivo debe ser removido del sistema.

A diferencia de la EPROM, la memoria flash es eléctricamente reescribible dentro del mismo sistema haciéndola mucho más flexible que la primera.

- EEPROM (*electrically erasable programmable read-only memory*). Esta memoria es no volátil y borrable eléctricamente por byte, característica necesaria en cierto tipo de aplicaciones, pero implica una mayor complejidad por celda, lo que a la postre limita a la memoria en densidad, baja confiabilidad y alto costo.

Las memorias flash toman la ventaja de poder ser borradas en el mismo sistema eléctricamente, además de poder ser altamente escalables, tener menor costo y mayor confiabilidad.

- DRAM (*dynamic random access memory*). Es una memoria de tipo volátil caracterizada por su alta densidad y bajo costo. Debido a sus características de volatilidad, no solo requiere de una fuente de alimentación constante para mantener sus datos, sino de una tecnología de almacenamiento, como un disco, para refrescarla.

Con la ayuda de discos duros para almacenamiento permanente, las DRAMs han provisto una solución, a bajo costo, para las PC's de hoy, donde los factores de espacio y potencia son de vital importancia.

La tecnología de fabricación de memorias flash permite que las celdas sean aproximadamente un 30% más chicas que sus equivalentes en DRAM. Por otro lado, la escalabilidad que presentan estas memorias es una gran ventaja, manteniendo su costo a la par de las DRAMs. Además, llegan a ser más atractivas como discos duros para sistemas portátiles; las tarjetas de memorias flash serie 2 de Intel tienen capacidades de 4, 10 y 20 Mbytes.

En resumen, las memorias flash combinan las ventajas de las tecnologías convencionales de las memorias anteriores. Proveen una mayor funcionalidad y flexibilidad que las ROM y EPROM; mayor densidad y mejor costo que las EEPROM y las SRAM (con respaldo de baterías). Por otro lado, la no volatilidad inherente a su tecnología de fabricación y su bajo consumo de potencia las hace una competitiva alternativa para muchas aplicaciones donde se utiliza DRAM.

Uno de los campos de mayor aceptación (por el momento) en el uso de memorias flash es el de las computadoras portátiles, en las cuales se utilizan memorias flash para almacenar el BIOS. La ventaja de esta implementación permite una fácil actualización de la memoria dentro del mismo sistema, vía software. Siguiendo una ideología similar, no deja de ser una idea tentadora el poder almacenar el sistema operativo en una memoria de estado sólido.

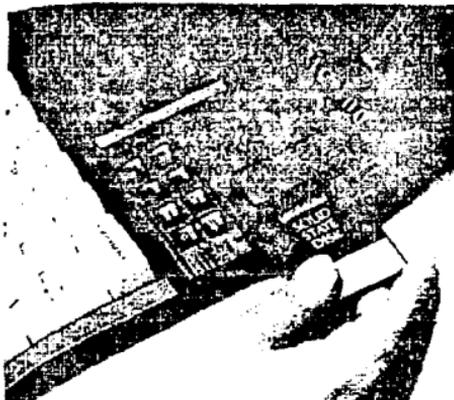


Figura II-18 Disco de estado sólido flash.

Un aspecto importante de consideración en las computadoras portátiles es el consumo de potencia. Las memorias flash han sido una alternativa para reemplazar a los discos flexibles y duros. La lectura y escritura en discos convencionales utilizan una cantidad considerable de potencia (3 watts min.) en los mecanismos móviles utilizados para esta tarea; por su parte, los discos flash reducen considerablemente (en una tercera parte como mínimo) el consumo, gracias a la ausencia de partes móviles para su operación. La compañía PSION en su modelo MC400 utiliza discos de estado sólido (flash) en lugar de discos flexibles, con un tamaño no mayor a una tarjeta de crédito y con una capacidad de 512 Kbytes, ver Figura II-18.

### II.9 CIRCUITOS LÓGICOS PROGRAMABLES.

En la era de la lógica pre-programable, diseños lógicos digitales tradicionales consistieron de muchos chips ó circuitos integrados (CI) del tipo SSI y MSI de lógica TTL, los cuales se combinaban para formar la función lógica deseada para un cierto sistema digital.

Los diseñadores de lógica digital dependían de los manuales de TTL de diferentes fabricantes, para encontrar las especificaciones pertinentes y determinar qué dispositivo estaba disponible en el mercado para realizar diseños con dicho CI.

Actualmente el PLD es uno de los componentes electrónicos más alternativo y competitivo para diseño de sistemas digitales. El PLD es aquel elemento de lógica LSI que combina características encontradas en dispositivos estándar con las de arreglos lógicos combinacionales, el resultado es una herramienta versátil y de gran utilidad. Como los dispositivos estándar, los PLD's son fabricados en grandes volúmenes con arquitecturas estándar; como resultado, éstos pueden alcanzar la reducción del costo tradicional de los mismos.

Similar a los arreglos de compuerta (y dispositivos de celda estándar), los PLD's son circuitos integrados de aplicación específica (ASIC's), desde el punto de vista de su función y dependiendo en la forma de ser programados. Así los PLD's presentan la flexibilidad de dispositivos especializados, permitiendo a los diseñadores especificar su operación lógica conforme a sus necesidades. También, como un arreglo de compuerta, un PLD puede reemplazar muchos dispositivos lógicos SSI/MSI estándar, dependiendo en la complejidad del PLD y la circuitería implementada en el dispositivo.

En 1975, SIGNETICS Corp. introdujo el primer dispositivo lógico programable (PLD), el 82S100 (ahora PLS100) *Field-Programmable Logic Array* (FPLA), posteriormente se introdujo el PLA del mismo fabricante, el cual era un manejador de aplicaciones específicas, a su vez SIGNETICS, tuvo la visión para darse cuenta que debía haber una mejor manera para diseñar y modificar sistemas digitales con un dispositivo mejor elaborado en lo sucesivo.

El pionero 82S100 FPLA, miembro inicial de la familia lógica de fusible integrado de SIGNETICS, consiste de un arreglo AND programable seguido por un arreglo OR programable, permitiendo la implementación lógica directa de suma de productos estándar. Eventualmente, BIRKNER (considerado padre de los PAL's) diseñó dispositivos que fueron similares a un FPLA, pero aún de una arquitectura más simple que el mismo FPLA. Los primeros dispositivos PAL's, fueron los ahora muy populares PAL16L8, PAL16R4, PAL16R6 y el PAL16R8, los cuales tienen típicamente 35ns de retraso de tiempo de propagación de la entrada a la salida. Cada uno de estos dispositivos tiene hasta 8 salidas y hasta 16 entradas. El dispositivo "L" tenía 8 salidas combinacionales activas bajas, mientras el dispositivo "R" tenía 4, 6 u 8 salidas de registro respectivamente (con las salidas restantes siendo combinacionales). En 1977 SIGNETICS introduce su 82S105 *Field-Programmable Gate Array* (FPGA), y en 1979 su *Filed-Programmable Logic Sequencer* (FPLS). El FPGA consistió de un arreglo de nivel simple de compuertas AND con entrada programable con selección de polaridad de salida, permitiendo cualquier función lógica básica (AND, OR, NAND, NOR e Inversión) para ser implementada. El FPLS contenía flip-flops para implementar máquinas de estado y funciones de secuencia.

La tecnología lógica programable continuó creciendo y dispositivos de segunda generación fueron pronto introducidos; para el término de 1983 se introduce el PAL22V10 de AMD (*Advanced Micro Devices*). Este dispositivo introdujo un número de características previamente no disponibles en otros dispositivos lógicos programables, la más notable característica fué la inclusión de macroceldas flexibles de salida en cada una de sus 10 salidas. Cada macrocelda era capaz de ser una salida combinacional o de registro (con polaridad de salida programable). El buffer de salida de tres estados era controlado por un término producto separado, permitiendo la operación bidireccional. Tomó poco tiempo para que el PAL22V10 ganara popularidad y mientras tanto otros PLD's comenzaron a implementar muchas de sus características en ellos. El siguiente avance significativo en Lógica Programable tomó lugar en julio de 1984, con la introducción de *start-up* de ALTERA Corp., el EP300, lo principal de EP300 fué su implementación usando tecnología CMOS EPROM, lo cual ofrece no sólo operación de baja potencia, sino también borrabilidad y prueba de fábrica. El EP300 también implementa macroceldas de salida, con características extendidas sobre el PAL22V10. Más tarde ALTERA impulsa la flexibilidad de las macroceldas de salida, llamando a su nuevo dispositivo EPLD (*Erasable-Programmable Logic Device*), nombre con el cual muchos otros fabricantes llamaron a sus productos. Un componente similar, pero aún distinto de la familia PLD fué también introducido en 1985 por LATTICE Semiconductor Corp. su familia *Generic Array Logic* (GAL). LATTICE ofreció diseños de lógica programable aún a otras tecnologías para selección, nombrada CMOS EEPROM como los EPLD's introducidos por ALTERA. los GAL's de LATTICE (inicialmente el GAL16V8) ofreció la operación de baja potencia común a la tecnología CMOS, así como borrabilidad. A diferencia de los EPLD's, los GAL's fueron de tecnología E<sup>2</sup>, permitiéndoles ser borrados en cuestión de segundos usando un voltaje aplicado, comparado a los 20 minutos ó más de la exposición a luz UV típicamente requerido para el borrado de EPLD's. También, los GAL's fueron capaces de ser borrados aún cuando residen en paquetes plásticos moldeados no costosos; mientras los EPLD's requieren paquetes cerámicos de ventana costosos para facilitar el borrado. GAL's, como todos los otros PLD's eléctricamente borrables, llegaron a ser conocidos genéricamente como

EEPLD's, como su nombre implícito *Generic Array Logic* (GAL), fue diseñado con una arquitectura genérica flexible (usando macroceldas), similar a los EPLD's de ALTERA. La primer intención de su arquitectura genérica fue conseguir una pieza del PLA, para ofrecer dispositivos que puedan reemplazar funcionalmente PAL's existentes. El GAL16V8, por ejemplo, fue capaz de reemplazar funcionalmente aproximadamente todo PAL existente de 20 terminales, lógicamente el fabricante puso a disposición del diseñador diferentes versiones de GAL's, para sus necesidades requeridas.

En la siguiente figura se puede observar la estructura general de un dispositivo EPLD.

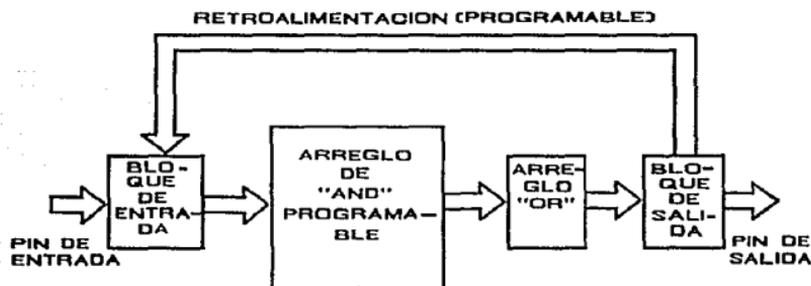


Figura II-19 Diagrama de bloques de un EPLD.

Para el diseño actual del sistema, se empleará tecnología GAL por las características antes mencionadas y por otras que se resumen en seguida:

- Es fabricado usando tecnología CMOS de muy alta velocidad borrable electricamente (E<sup>2</sup>CMOS), la cual ofrece el más alto grado de prueba y calidad de cualquier proceso tecnológico, también como borrabilidad instantánea.
- Puede reemplazar directamente elementos PAL en casi toda aplicación por compleja que ésta sea.
- Tiene el consumo bajo de potencia de componentes CMOS, un cuarto a un medio del consumo de los elementos bipolares.
- Utiliza macroceldas lógicas de salida (OLMC's), las cuales le permiten al diseñador configurar las salidas como sea necesario.

Por la combinación de estas características en una simple línea de productos, la familia GAL es idealmente el componente para reemplazar lógica TTL/74HC, arreglos de com-

puerta de baja densidad y todos los otros dispositivos de lógica programable. La familia GAL ofrece los beneficios de: reducción del costo del sistema, tamaño del producto, ahorro de espacio del circuito impreso, requerimientos de potencia, así como la más alta confiabilidad y simplifica notoriamente el diseño del sistema.

Ahora bien, referente al GAL22V10, el cual es el dispositivo seleccionado para el diseño del sistema, es un dispositivo que tiene 15 ns de máximo tiempo de retraso de propagación, combina un proceso CMOS de alto desarrollo con tecnología de compuerta flotante ( $E^2$ ), para dar la más alta funcionalidad disponible de cualquier dispositivo 22V10 en el mercado. La circuitería CMOS permite que el GAL22V10 consuma cerca de 90 mA típicos, lo cual representa un ahorro del 50% en potencia cuando es comparado con su contraparte bipolar. La tecnología  $E^2$  ofrece tiempos de borrado de alta velocidad (50 ms max.), facilitando la habilidad para reprogramar o reconfigurar el dispositivo rápida y eficientemente. La arquitectura genérica facilita máxima flexibilidad de diseño, esto es, permite que las OLMC's sean configurables por el diseñador. El GAL22V10 es completamente compatible, funcionalmente, con el mapa de fusible y paramétricamente con dispositivos bipolares y CMOS 22V10. Por lo cual, el GAL22V10 puede reemplazar cualquier dispositivo programable antes mencionado, con mayores ventajas y beneficios para el sistema. Este dispositivo tiene un número variable de términos producto por OLMC; de las 10 OLMC's disponibles, 2 tienen acceso a 8 términos producto (terminal 14 y 23), 2 tienen 10 términos producto (terminales 15 y 22), 2 tienen 12 términos producto (terminales 16 y 21), 2 tienen 14 términos producto (terminales 17 y 20) y 2 OLMC's tienen 16 términos producto (terminales 18 y 19). El GAL22V10 tiene un término producto para la entrada de AR (reset asíncrono) y un término producto para la entrada SP (preset síncrono). Estos dos términos producto son comunes a todas las OLMC's de registro. Este dispositivo cuenta con dos modos funcionales primarios, los cuales podrán ser seleccionados en el tiempo de la programación; uno es el modo registro y otro es el modo combinacional, enseguida se describen estos modos.

**Modo Registro.** En este modo la terminal de salida asociada con una OLMC individual es manejada por la salida "Q" del flip-flop "D" de esa OLMC. La polaridad lógica de la señal de salida en la terminal podrá ser seleccionada especificando que el buffer de salida maneja cualquiera de los dos estados, verdadero (activo alto) o invertido (activo bajo). El control de salida de tres estados está disponible y puede ser individualmente seleccionado como cualquier estado, ON, OFF o término producto manejado. La salida Q del flip-flop es retroalimentada en el arreglo "AND" por la vía del buffer del arreglo "AND". Ambas polaridades (verdadera e invertida) de la OLMC son realimentadas en el arreglo "AND".

**Modo Combinacional.** En este modo la terminal asociada con una OLMC individual es manejada por la salida de la compuerta del término suma. El control de salida de tres estados está disponible y podrá individualmente ser seleccionado como cualquiera, "ON" (salida dedicada), "OFF" (entrada dedicada), o término producto manejado (I/O dinámica). La retroalimentación proviene de la terminal de salida al arreglo "AND" por la vía del buffer del arreglo "AND". Ambas polaridades (verdadera e invertida) de la terminal son realimentadas en el arreglo "AND".

## **II.10 TECNICAS DE INTERFASE.**

La interfase (via de comunicación), es el medio físico (*hardware*) por el cual se puede transferir información digital (lógica), entre un sistema principal (*host*) y un periférico o tarjeta prototipo.

Para la realización de dicha interfase, existen varias técnicas o arquitecturas, entre las más conocidas y con mayor frecuencia empleadas se encuentran las siguientes:

- Interrupciones
- DMA (Acceso Directo a Memoria)
- Memoria doble puerto o Memoria compartida
- Bus común o de tiempo compartido

A continuación se mencionan las principales características de cada una de las técnicas o arquitecturas antes mencionadas.

**INTERRUPCIONES.** Las interrupciones son funciones reservadas de las MPU (Unidades Microprocesadoras) y MCS (Microcontroladores), las cuales son útiles y necesarias, cuando se comunica un diseño a un sistema microprocesador. La mayor ventaja de las interrupciones es la capacidad para obtener la atención del elemento inteligente (MPU o MCS) para servir una función, sin requerir que el procesador este constantemente censando (*polling*) una interfase para atender la solicitud requerida por ésta, con lo cual deja al procesador o elemento inteligente libre para hacer otras actividades hasta que este es requerido por la interfase.

Las funciones de interrupción son usadas frecuentemente en aplicaciones de interfase que requieren sincronización con eventos externos o cuando condiciones de error, requieren la atención del procesador. La desventaja principal de esta técnica, es el tiempo de procesamiento del hardware; el cual es el tiempo que le toma al hardware, para que la MPU reciba la interrupción, le proporcione el nivel de jerarquía correspondiente, obtenga el valor del apuntador de dirección, contador de programa y banderas presentes e introducirlos en el stack, para posteriormente recurrir a la rutina de servicio de interrupción; éste tiempo es razonablemente grande por lo cual hace a dicha técnica hasta cierto punto ineficiente. En la Figura II-20 se muestra el proceso de interrupción en un diagrama de bloques.

**DMA (Acceso Directo a Memoria).** En muchas aplicaciones de interfase, se necesita recibir o transmitir datos a una interfase a velocidades más altas que las posibles alcanzadas con un simple lazo que usa instrucciones de entrada y salida. Esto se lleva acabo con un dispositivo controlador de DMA, el cual le permite a un periférico ó adaptador leer información de memoria ó escribir información a memoria sin usar demasiados recursos de la MPU. En el diseño de la PC, este dispositivo es un chip controlador DMA (8237-5)

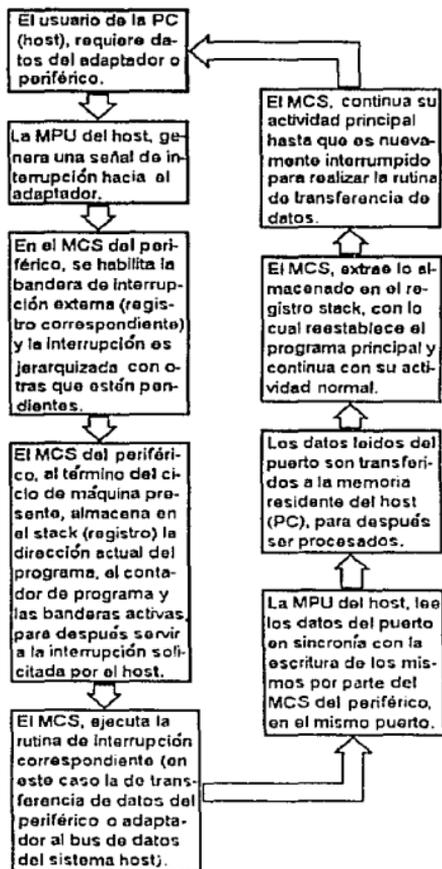


Figura II-20 Algoritmo del proceso de interrupción

## CONSIDERACIONES Y PRINCIPALES ELEMENTOS DEL SISTEMA

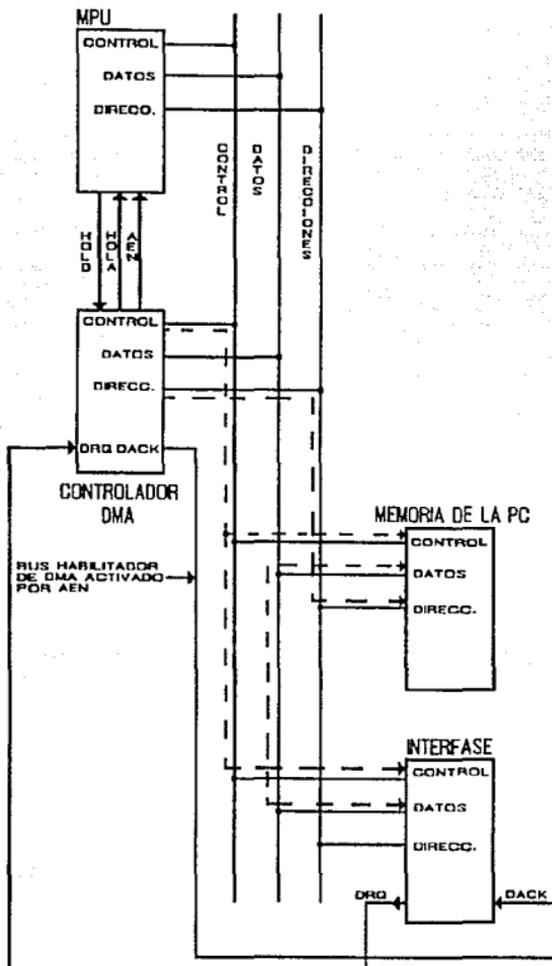


Figura II-21 Arquitectura de DMA.

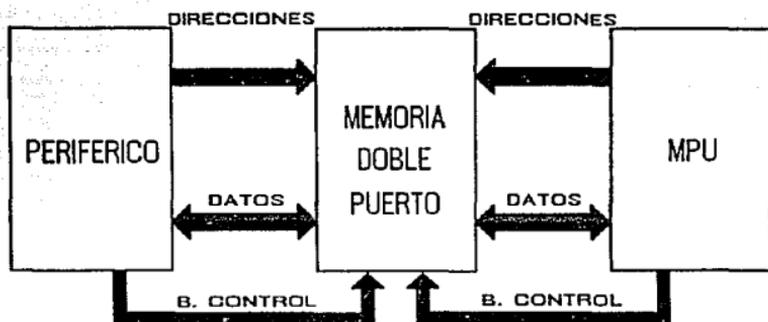
de Intel. El cual realiza la comunicación directa entre la MPU del host y el adaptador o periférico.

La mayor ventaja de esta arquitectura es en general la baja demanda de los recursos de la MPU, debido a un diseño simple y al hecho de que la MPU no es involucrada en la transferencia de información. Pero la principal desventaja, es que los controladores DMA han sido lentos en su ejecución en este tipo de transferencia de información; sin embargo, a comparación del tiempo requerido para servir una interrupción o ejecutar un lazo de polling (monitoreo), la técnica de DMA se realiza en un tiempo infinitesimal comparado con los tiempos de las dos acciones antes mencionadas. Ahora bien, ya que DMA es una técnica solo de hardware, el único recurso usado de la computadora es el ancho de banda del bus; lo que significa que si se utiliza DMA a su máxima capacidad, la mitad del ancho del bus es ocupado, con lo cual todo proceso del sistema host (residente) es reducido a media velocidad mientras ocurre un ciclo DMA. Otra desventaja principal, es que los diseños de interfaces deben considerar la velocidad con que el ciclo de DMA transfiera información del bus de datos al MPU del *host*, y dicha velocidad hacerla compatible con la velocidad de procesamiento y transferencia de información del adaptador o periférico, ya que si esto es pasado por alto, produciría el llamado embotellamiento de los datos en la vía de comunicación o hasta producir errores de lectura y, por lo tanto, de escritura de los mismos en la memoria del *host*. Lo anterior se reduce a que ambos elementos deben estar sincronizados (en baudaje) para su actividad correcta de transferencia. En la Figura II-21 se esquematiza la topología de DMA.

**MEMORIA DOBLE PUERTO o MEMORIA COMPARTIDA.** Si la información debe ser retenida (*buffered*) o transferida a velocidades más grandes que las disponibles usando la facilidad de DMA, otra técnica podrá ser usada. Una técnica común es con el empleo de memorias doble puerto de alta velocidad, con lo cual la MPU puede leer y escribir a memoria respectivamente en uno de sus puertos y la información puede ser transferida por el otro puerto, ya que los dos elementos inteligentes, pueden tener acceso inmediato a la memoria, sin requerir algún proceso de ventanas de tiempo para realizar el acceso o producir algún tipo de interrupción para conseguir el mismo fin. Lo cual es una de sus principales ventajas sobre otras técnicas. (Los buffers del adaptador de display en la PC usan esta técnica). La Figura II-22 muestra a bloques la conexión de la memoria doble puerto y los dos elementos inteligentes.

Esta memoria es multiplexada en el tiempo con un reloj de alta velocidad; en una fase del reloj, la memoria puede ser conectada al bus del sistema de la PC, en la otra fase del reloj, un periférico ó adaptador podrá acceder la memoria. Esta técnica permite que el procesador accese la memoria en cualquier momento, aún mientras la información está siendo leída o escrita de o a memoria respectivamente en el otro puerto. Sin embargo, esta técnica tiene dos desventajas. Primera, una memoria más debe ser aumentada al sistema. Segunda, la memoria debe ser de alta velocidad, para que ésta pueda soportar ambos requerimientos, tanto el acceso de la MPU como la velocidad de información del adaptador o interfase; con lo cual la MPU (host) tiene que gastar tiempo en mover información (datos e instrucciones) dentro y fuera de la memoria doble puerto, hacia el adaptador o bien, el MCS del adaptador realiza la misma actividad. Este tipo de arquitectura o técnica de

transferencia, es también conocida como memoria compartida debido a su funcionamiento básico, esto es, por causa a que es compartida tanto por el sistema host como por el adaptador. Básicamente, esta arquitectura funciona como un gran buffer (registro) entre ambos sistemas.



*Figura II-22 Diagrama de bloque de un acceso a memoria doble puerto.*

**BUS COMUN o DE TIEMPO COMPARTIDO.** Desde el punto de vista lógico, ésta es la más simple y general de las estructuras de interconexión entre uno o muchos elementos inteligentes (MPU's o MCS's) y módulos de memoria. Un bus compartido es una ruta o trayectoria simple de comunicación, para el cual las unidades funcionales (memorias y elementos inteligentes) son conectadas como se muestra en la Figura II-23. Si solo una unidad inteligente es conectada a el bus, no existe problema de levantamiento de contención. Cuando dos o más unidades inteligentes son conectadas al mismo bus, alguna prioridad debe ser usada para establecer la comunicación. Una ventana de tiempo establecida puede ser asignada para cada elemento inteligente o el sistema tal vez podrá ser hábil para resolver el levantamiento de contención de secuencias de solicitud no restringidas. En el caso de no existir ventanas de tiempo preestablecidas, los procesadores o elementos inteligentes requieren acceso a los módulos de memoria a través de un mecanismo de arbitreo, el cual maneje solicitudes simultáneas. Es obvio que esta red de interconexión no permite transferencia simultánea entre diferentes parejas de elemento inteligente/memoria y por lo tanto la estructura de bus global podrá provocar fácilmente un embotellamiento de información en el sistema. Para conseguir una mejor ejecución del sistema, el bus global puede ser substituido por un conjunto de buses, lo cual es un enfoque un poco más complejo y por consiguiente, un análisis cuidadoso debe ser realizado entre el costo, la complejidad y el mejoramiento funcional obtenido.

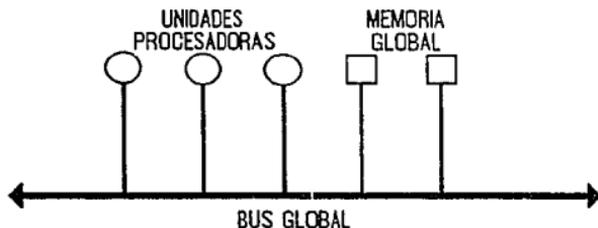


Figura II-23 Topología de bus compartido.

Con lo anterior, se determinó que la técnica más adecuada para nuestro diseño es la de Memoria Compartida o de Doble Puerto, debido a las características y facilidades que ésta presenta con respecto a las demás.

## II.11 EL SISTEMA DE BUS DE EXPANSION o SLOT (RANURA) DE LA PC.

El sistema bus o slot de la PC, está disponible para la conexión de dispositivos adaptadores (tarjetas prototipo) o periféricos, esto es para que la PC tenga una comunicación directa a través de una interfase con el mundo real, se cuentan de tres a ocho ranuras de este tipo en la PC dependiendo del tipo de ésta, todas las ranuras están constituidas con las mismas señales en cada terminal. Todas las señales son compatibles con los niveles lógicos TTL, excepto las señales provistas en los conectores para los buses de potencia y tierra. Las señales del bus del microprocesador son aumentadas por señales para soportar DMA, interrupciones, temporizado y control de lectura de I/O, escritura de I/O, lectura de memoria, escritura a memoria, generación de estados de espera, refresco de memoria y detección de error.

Enseguida se describe en forma sintetizada el nombre y uso de cada una de las terminales que conforman el bus o ranura de expansión de la PC XT.

### OSC

La señal OSC (*oscillator*) es una señal solo de salida con una frecuencia de 14.31818 MHz y un período de aproximadamente 70 ns; ésta tiene un ciclo de trabajo del 50% aproximadamente. La frecuencia del OSC, que tiene la más alta frecuencia en el bus, puede ser

ajustada y adaptada usando un capacitor variable que está típicamente en la tarjeta madre del sistema.

### CLK

La señal CLK (*clock*) es derivada de la señal OSC usada para manejar la MPU (Unidad Microprocesadora). Esta es una señal sólo de salida. La señal CLK es obtenida dividiendo la señal OSC de entrada de la MPU entre tres, el cual da una frecuencia de 4.77 MHz para un sistema de 4.77 MHz, 8 MHz para un sistema de 8 MHz y 10 MHz para un sistema de dicha frecuencia.

### RESET DRV

RESETDRV (*reset driver*) es una señal sólo de salida que es retenida activada alta durante secuencias de encendido del sistema. Esta se mantiene activa hasta que todos los niveles han alcanzado su rango de operación específico; después ésta es desactivada. Además la señal RESET DRV es llevada a un nivel activo alto, si algún nivel de potencia cae fuera de su nivel de operación específico después del encendido del sistema.

### AO-A19

Los bits de dirección (terminales) de la A0 al A19 son señales sólo de salida usadas para direccionar las unidades de I/O y de memoria que están conectadas al bus del sistema. (A0 es el bit menos significativo y A19 es el bit más significativo.) Estas veinte líneas de señal son manejadas por la MPU durante ciclos del sistema de bus para lectura de memoria, escritura de memoria, lectura de I/O y escritura de I/O. Estas a su vez son manejadas por la característica de lógica de acceso directo a memoria, lo cual implica que son utilizadas durante ciclos DMA.

### D0-D7

Las líneas de D0 a D7 son líneas de datos bidireccionales usadas para transferir datos entre la MPU, la unidad(es) de memoria y los puertos o unidades de I/O. (D0 es el bit menos significativo y D7 es el bit más significativo.) Durante ciclos DMA, el bus de datos es empleado para transferir datos directamente entre un puerto de I/O y la memoria del sistema sin la intervención de la MPU. Durante estos ciclos, el procesador host es desconectado de los buses (direcciones, datos y control) y el dispositivo controlador de DMA, toma el mando sobre estos buses o líneas para realizar la transferencia.

### ALE

La señal ALE (*address latch enable*) es una señal sólo de salida manejada por el dispositivo controlador de bus. Esta es usada para indicar que el bus de dirección es ahora válido, habilitando con esto el inicio de un ciclo de bus. Esta señal es usada para retener o asegurar información de dirección del bus local de datos/dirección de la MPU. El bus de datos del sistema no contiene información de dirección; por lo cual, ALE no puede ser usada para

demultiplexar direcciones del bus de datos. La señal ALE no es activada durante ciclos de DMA.

### I/O CH CK

La señal I/O CH CK (*I/O channel check*) es una señal sólo de salida de nivel bajo, usada para reportar condiciones de error en tarjetas adaptadoras conectadas al bus de expansión. En el sistema, esta línea es usada para reportar condiciones de error de paridad en tarjetas de memoria conectadas al bus.

### I/O CH RDY

La señal I/O CH RDY (*I/O channel ready*) es una señal sólo de entrada usada para extender la longitud de los ciclos de bus, así que los puertos de I/O y las memorias que no son bastante rápidos para responder a un ciclo de bus normal (cuatro períodos de reloj del sistema PC XT), pueden aún ser conectados al bus del sistema haciendo uso de ésta línea, con las consideraciones pertinentes.

### IRQ2-IRQ7

IRQ2 a IRQ7 (*interrupt requests 2 a 7*) son seis señales sólo de entrada, las cuales son usadas por el bus del sistema para generar solicitudes de interrupción a la MPU. Estas señales van directamente a el controlador de interrupción de la tarjeta procesadora. La señal IRQ2 es la señal de la más alta prioridad e IRQ7 la señal de la más baja prioridad.

### $\overline{\text{IOR}}$

La señal  $\overline{\text{IOR}}$  (*I/O read*) es una señal sólo de salida proveniente del dispositivo controlador del bus. Esta es usada para indicarle al puerto de I/O que el ciclo de bus iniciado por la MPU, es un ciclo de lectura de puerto de I/O y la dirección en el bus de dirección es una dirección del puerto de I/O.

### $\overline{\text{IOW}}$

La señal  $\overline{\text{IOW}}$  (*I/O write*) es una señal sólo de salida que es verificada baja. Esta es manejada por el controlador de bus durante ciclos de bus iniciados por la MPU e indica que el bus de dirección contiene una dirección de puerto de I/O y el bus de datos contiene datos para ser escritos en el puerto de I/O.

Cuando un ciclo de bus DMA ocurre, esta señal es manejada por medio del controlador de DMA.

### $\overline{\text{MEMW}}$

La señal  $\overline{\text{MEMW}}$  (*memory write*) es una señal verificada baja usada para escribir datos del bus del sistema en la memoria. Esta señal es manejada por medio del controlador de bus

durante ciclos de bus iniciados por la MPU e indica que el bus de dirección contiene la dirección de una localidad de memoria para el cual el dato en el bus de datos está para ser escrito en memoria. Durante ciclos de DMA, esta señal es manejada por el controlador respectivo y es usada para escribir datos en el bus de un puerto de I/O en la memoria.

### MEMR

La señal MEMR (*memory read*) es una señal sólo de salida verificada baja usada para la solicitud de datos de la memoria. Esta señal es manejada por el controlador de bus en ciclos de bus iniciados por la MPU. Esta indica que el bus de dirección contiene una dirección de lectura de memoria válida y que la localidad de memoria especificada debería manejar el bus de datos del sistema con su dato leído. Durante ciclos de DMA, esta señal es manejada por el controlador que realiza dicha tarea e indica que la localidad de dirección de memoria debería responder manejando el bus de datos con su dato leído, así que este puede ser escrito en el puerto de I/O seleccionado por DACK.

### DRQ1-DRQ3

Las líneas DRQ1 a DRQ3 (*direct memory access request 1 a 3*) son líneas sólo de entrada que son verificadas altas, las cuales son usadas por la interfase para solicitar ciclos directos de datos. Si un dispositivo o interfase lógica desea transferir datos entre sí mismo y la unidad de memoria sin la intervención de la MPU, la solicitud es iniciada por la activación de una línea DRQ. Estas líneas van directamente a el controlador de DMA en la tarjeta del sistema de procesamiento, donde éstas son priorizadas con otras solicitudes de DMA antes de que el ciclo DMA es concedido. La señal DRQ0, no esta disponible en el bus del sistema; debido a que esta dedicada solamente en la tarjeta procesadora para el refresco de la memoria dinámica del sistema base (*host*).

### DACK0-DACK3

Las señales DACK0 a DACK3 (*direct memory access acknowledge 0 a 3*) son señales sólo de salida, las cuales son verificadas bajas como resultado del controlador DMA. Estas indican que la señal DRQ correspondiente ha sido aceptada y el controlador de DMA tomará el bus y procederá con el ciclo DMA solicitado. Como no existe la señal DRQ0 correspondiente en el bus del sistema; por lo cual, DACK0 indica que el ciclo DMA presente es un ciclo de lectura falso o simulado que puede ser usado para el refresco de la memoria dinámica del sistema. Durante el ciclo DACK0 de lectura de memoria, el bus de dirección contiene incrementos válidos de direcciones de refresco.

### AEN

La señal AEN (*address enable*) es una señal sólo de salida que es verificada alta y proporcionada por la lógica de control de DMA. Esta indica que un ciclo de bus DMA esta en progreso. En la tarjeta procesadora, esta señal es usada para deshabilitar los buses de control, dirección y datos de la MPU del sistema bus y habilitar el bus de control y dirección del controlador de DMA. En el bus del sistema, la señal AEN deshabilita la decodificación

de dirección del puerto de I/O durante ciclos de DMA, así que las direcciones de memoria de DMA no son usadas como direcciones de puertos de I/O. Esto es posible por que IOW e IOR podrán ser activadas con direcciones de memoria en el bus de dirección durante ciclos de DMA.

### TC

La señal TC (*terminal count*) es una señal sólo de salida que es verificada alta, la cual es proporcionada por el controlador de DMA. Esta indica que uno de los canales de DMA ha alcanzado su número preprogramado de ciclos de transferencia. Esta señal es típicamente usada para terminar una transferencia de bloque DMA. Debido a que la señal TC es proporcionada cuando cualquiera de los cuatro canales de DMA alcanzan su cuenta terminal, esta es necesaria para condicionar esta señal con la señal DACK apropiada.

### POWER & GROUND BUS

Las terminales de POWER & GROUND (Potencia y Tierra) son las líneas de polarización que están disponibles en el sistema bus, a continuación se enuncian estas terminales:

- +5 Vdc. La fuente de poder de +5 volts, está disponible en dos de las terminales del bus. Esta está regulada al  $\pm 5\%$  (+4.75 a +5.25 volts dc).
- +12 Vdc. La fuente de poder de +12 volts dc, está disponible en una terminal del bus. Esta está regulada al  $\pm 5\%$  (+11.4 a +12.6 volts dc).
- -5 Vdc. La fuente de poder de -5 volts dc, está disponible en uno de las terminales del bus. Esta está regulada al  $\pm 10\%$  (-4.5 a -5.5 volts dc).
- -12 Vdc. La fuente de poder de -12 volts dc, está disponible en una de las terminales del bus. Esta está regulada al  $\pm 10\%$  (-10.8 a -13.2 volts dc).

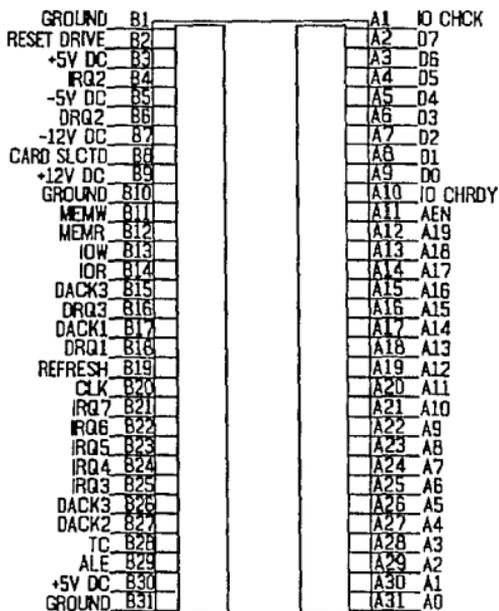
En la Tabla II-4 se resumen las características sobresalientes de los suministros de potencia disponibles en el sistema de bus de expansión de los sistemas PC XT.

La Figura II-24 muestra el esquema general del bus de expansión de la PC XT, con las señales respectivas que lo conforman.

**CONSIDERACIONES Y PRINCIPALES ELEMENTOS DEL SISTEMA**

POTENCIA	CORRIENTE			POTENCIA	CORR. TIP/
DC (Vdc)	MAX (Vdc)	MIN (Vdc)	(AMP.)	(WATTS)	SLOT (AMP)
+5.0	5.25	4.80	7.0	35.0	0.7
-5.0	5.50	4.60	0.3	1.5	0.03
+12.0	12.6	11.52	2.0	24.0	0.10
-12.0	13.2	10.92	0.25	3.0	0.05

**Tabla II-4 Suministro de potencia a la PC.**



**Figura II-24 Distribución de las terminales.**

## **CAPITULO III**

# **EL MICROCONTROLADOR 80C196KC DE INTEL**

Con la aparición del primer microprocesador, el 4004 de INTEL en 1971, el campo de aplicación de las microcomputadoras empezó a evolucionar de una manera asombrosa.

El microprocesador almacena dos de los principales módulos de una microcomputadora: la unidad aritmético lógica (ALU) y la unidad de control.

El desarrollo de éstos dispositivos ha hecho posible la creación de los circuitos integrados que componen un sistema microcomputador, los **Microcontroladores**.

En la actualidad, las aplicaciones de los microcontroladores abarcan diferentes sectores, entre los cuales destacan:

- Controladores programables: automatización industrial, máquinas herramientas, etc.
- Instrumentación: terminales interactivas, analizadores lógicos, "data-loggers", instrumentación biomédica, etc.
- Controladores de periféricos: unidades de discos, control de impresoras, etc.
- Control de procesos: sistemas de supervisión y control, etc.
- Unidades de proceso aritmético y contables: ordenadores de gestión, cajas registradoras, etc.
- Sistemas para la comunicación: transmisores y receptores de datos, etc.
- Procesamiento digital de señales.

### III.1 EL MICROCONTROLADOR 80C196KC

El microcontrolador 80C196KC es un dispositivo del tipo CHMOS de alto desempeño de la familia MCS-96. La familia MCS-96 presenta una arquitectura registro a registro, por lo que no se necesita un acumulador. Internamente tiene periféricos, entre los que se encuentran: un puerto serie, un convertidor A/D, tres salidas PWM, hasta 48 líneas de Entrada/Salida y un subsistema de Entradas/Salidas de alta velocidad, el cual tiene dos timers contadores de 16 bits. En la Figura III-1, se puede apreciar la arquitectura del microcontrolador.

#### III.1-a Operación de la Unidad Central de Proceso (CPU).

El CPU del 80C196KC tiene como componentes principales a el Archivo de Registros (*Registers File*) y el Registro de la Unidad Lógico Aritmética (RALU). La comunicación con el mundo exterior, se lleva a cabo por medio de los registros de función especial (SFRs) o por medio del controlador de memoria.

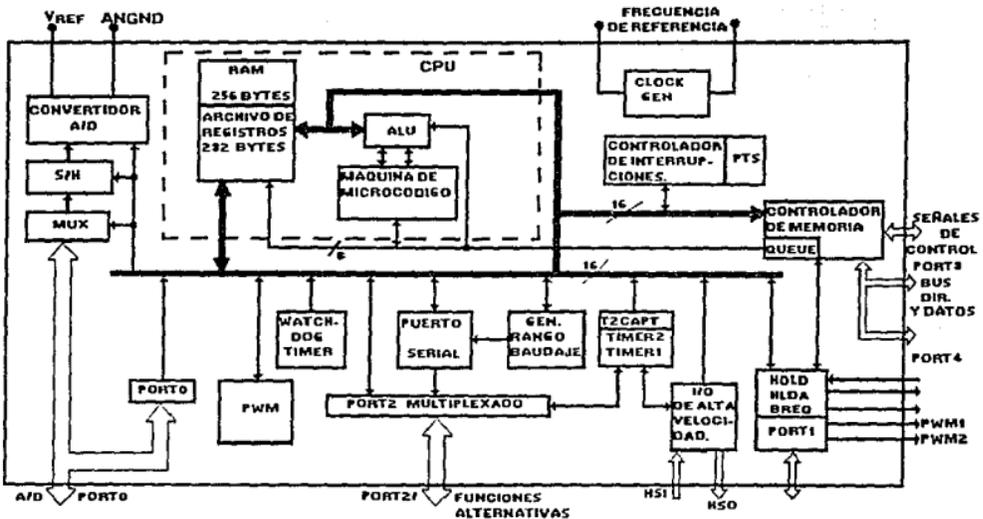


Figura III-1 Diagrama de bloques del 80C196KC.

El CPU en el 80C196KC es de 16 bits, el cual conecta a el controlador de interrupciones y a el controlador de memoria mediante un bus de 16 bits. Además, cuenta con un bus de 8 bits el cual transfiere bytes de interrupciones del controlador de memoria a el CPU. Una extensión del bus de 16 bits comunica al CPU con los dispositivos periféricos.

### **Controlador de Memoria**

Una de las principales funciones del Controlador de Memoria (Figura III-2) radica en que, a través de él, el RALU accesa a la memoria (excepto por el archivo de registros y el espacio de SFR). El controlador de memoria está formado por un controlador de bus, una línea de espera de prebúsqueda de 4 bytes y un contador esclavo de programa. Tanto el bus interno de ROM/EPROM y el bus de memoria externa son manejados por el controlador de bus.

El acceso de la memoria hacia el controlador de bus se puede realizar, ya sea a través del RALU, o por medio de la línea de espera.

### **Control del CPU**

Una máquina de microcódigo controla el CPU, permitiéndole desarrollar operaciones con un byte, palabra o doble palabra en el espacio de registros de 256 bytes. Las instrucciones del CPU son tomadas por la línea de espera y almacenadas, temporalmente, en el registro de instrucciones.

### **REGISTRO/ALU (RALU)**

La mayoría de los cálculos realizados en el 80C196KC se realizan en el RALU (Figura III-2). El RALU contiene una ALU de 17 bits, el PSW (*Program Status Word*), el contador de programa (PC), un contador de lazo y tres registros transitorios. Todos estos registros son de 16 o 17 bits (16 más extensión de signo).

Los cambios en el PC debidos a saltos, llamados a y regresos de subrutinas, e interrupciones tienen que ser manejados a través de la ALU. Dos de los registros transitorios tienen sus propias transferencias lógicas. Estos registros son usados para las operaciones que requieren transferencias lógicas, incluyendo normalización, multiplicación, y división. "*Lower Word*" y "*Upper Word*" son usados juntos para instrucciones de 32 bits y como registros transitorios para muchas instrucciones. Las transferencias repetitivas son contadas con el contador de lazo de 6 bits.

Un tercer registro transitorio almacena el segundo operando de las instrucciones de dos operandos. Esto incluye el multiplicador durante la multiplicación y el divisor durante la división.

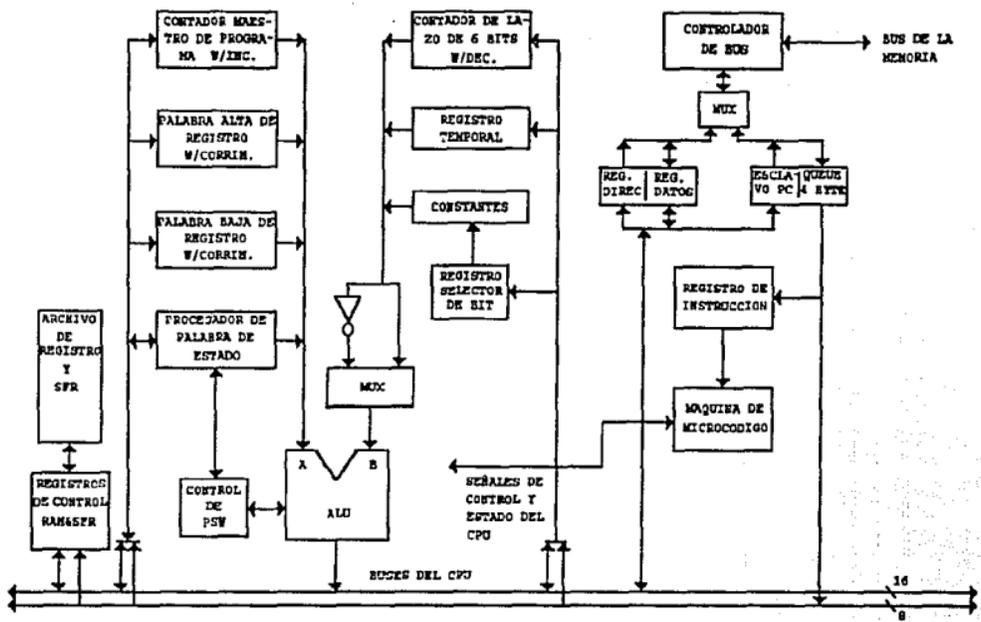


Figura III-2 Controlador de memoria.

**Ciclos Internos de Reloj o de máquina.**

El 80C196KC requiere de una señal de reloj en la terminal nombrada XTAL1. Como XTAL1 y XTAL2 son la entrada y salida, respectivamente, de un inversor, se puede utilizar un cristal para generar el reloj.

La operación interna del microcontrolador se basa en la frecuencia del cristal o del oscilador externo dividido por 2. Cada dos períodos de oscilación es referido a un "tiempo de estado", la base de tiempo del 80C196KC. Con un oscilador de 16 MHz, un tiempo de estado es de 125 ns.

<b>MEMORIA EXTERNA O ENTRADA / SALIDA</b>	<b>FFFFH</b>
<b>ROM / EPROM INTERNA O MEMORIA EXTERNA</b>	<b>6000H</b>
<b>RESERVADO</b>	<b>2080H</b>
<b>VECTORES PTS</b>	<b>205EH</b>
<b>VECTORES SUPERIORES DE INTERRUPCIONES</b>	<b>2040H</b>
<b>LLAVE DE SEGURIDAD DE ROM / EPROM</b>	<b>2030H</b>
<b>RESERVADO</b>	<b>2020H</b>
<b>BYTE DE CONFIGURACION DEL CHIP</b>	<b>2019H</b>
<b>RESERVADO</b>	<b>2018H</b>
<b>VECTORES INFERIORES DE INTERRUPCIONES</b>	<b>2014H</b>
<b>PUERTO 3 Y PUERTO 4</b>	<b>2000H</b>
<b>MEMORIA EXTERNA</b>	<b>1FFEH</b>
<b>RAM ADICIONAL</b>	<b>0200H</b>
<b>ARCHIVO DE REGISTROS Y MEMORIA EXTERNA DE PROGRAMA</b>	<b>0100H</b>
	<b>0000H</b>

**Figura III-3 Mapa de memoria del 80C196KC.**

**III.1-b Espacio de Memoria.**

El espacio de memoria direccionable en el 80C196KC es de 64 Kbytes, la mayoría de los cuales está disponible para el usuario para memoria de programa o de datos. Las localidades de la 0000H a la 01FFH y de la 1FFEH a la 2080H son de propósito específico. La Figura III-3 muestra el mapa de memoria del microcontrolador.

### **Archivo de Registros.**

Las localidades de la 0000H a la 1FFH contienen el archivo de registros, los SFRs, y 256 bytes de RAM adicional.

La RAM interna de la localidad 18H a la FFH es el archivo de registros. Contiene 232 bytes de RAM el cual puede ser accesado como bytes (8 bits), palabras (16 bits), o dobles palabras (32 bits). Como cada una de estas localidades pueden ser usadas por el RALU, hay esencialmente 232 "acumuladores".

Las localidades 18H y 19H contienen el *Stack Pointer*. Estos no son registros de funciones especiales y pueden ser usados como RAM estándar si la operación del stack no está siendo desarrollada.

### **Registros de Funciones Especiales (SFRs).**

Los registros de control de entradas y salidas, o SFRs, se localizan en las localidades de la 00H a la 17H. Todos los dispositivos periféricos en el 80C196KC (excepto los puertos 3 y 4) son controlados a través de los SFRs. El 80C196KC posee tres ventanas horizontales (*Hwindows*) para incrementar el espacio del SFR.

Hwindow 0 tiene 24 registros, algunos de los cuales tienen diferentes funciones cuando se lee que cuando se escribe.

Hwindow 1 contiene los SFRs extras que se necesitan para soportar la funcionalidad adicional del 80C196KC. Estos SFRs soportan el PTS (*Peripheral Transaction Server*), dos nuevos PWM, el TIMER2, y las nuevas funciones del convertidor A/D. Todos los SFRs son de lectura y escritura en esta ventana.

En el registro Hwindow 15, la operación de los SFRs es invertida, así que los registros que fueron de sólo lectura en el espacio Hwindow 0 serán de sólo escritura y viceversa.

### **ROM Y EPROM internas.**

La búsqueda de instrucciones y datos de la ROM y EPROM internas ocurre únicamente si EA está en alto y la dirección está entre la 2000H y la 5FFFH. En cualquier otro caso, el dato es accesado de la RAM interna o de la memoria externa y las instrucciones son buscadas en la memoria externa.

### **Sistema de Buses.**

Existen algunos modos de operación del sistema de buses en el 80C196KC. El modo estándar de bus utiliza un bus de 16 bits para multiplexar direcciones y datos. Otros modos incluyen un modo de 8 bits y un modo en el cual el tamaño del bus puede ser intercambiado dinámicamente entre 8 y 16 bits.

### **III.1-c Periféricos.**

Cinco son los periféricos principales en el 80C196KC: las salidas del modulador por ancho de pulso (PWM), Timer1 y Timer2, unidades de alta velocidad de entrada/salida (HSIO), puerto serie y un convertidor A/D. Un periférico menor es el timer watchdog.

#### **Salida del Modulador por Ancho de Pulso (D/A).**

Una conversión digital-analógica puede realizarse con la salida del PWM. El 80C196KC tiene 3 salidas de PWM.

La forma de onda a la salida es un pulso de ciclo de trabajo variable, el cual es seleccionable para repetirse cada 256 o 512 tiempos de estado. Los cambios en el ciclo de trabajo son hechos escribiendo en el registro del PWM.

#### **Timer1 Y Timer2.**

Dos timers de 16 bits están disponibles para usarse en el 80C196KC. El primero es designado "Timer1", y el segundo "Timer2".

- **Timer1.** El Timer1 es un temporizador de carrera libre el cual es incrementado cada ocho tiempos de estado. Se puede leer y escribir en él, pero se debe tener mucho cuidado cuando se escribe si la unidad de HSIO se está usando.

- **Timer2.** El Timer2 cuenta transiciones, tanto positivas como negativas, en su entrada la cual puede ser el pin T2CLK o el pin HSI.1. Puede leerse o escribirse en él y puede ser inicializado por hardware, software o por la unidad HSO. Además, se puede configurar para que cuente hacia arriba o hacia abajo.

#### **Entradas de Alta Velocidad (HSI).**

La unidad de HSI puede capturar el valor del Timer1 cuando existe un evento en alguno de sus cuatro terminales de entrada (HSI.0-HSI.3). Cuatro tipos de eventos pueden significar una captura: cada flanco de subida, cada flanco de bajada, flancos de subida o bajada, o cada ocho flancos de subida. Cada pin del HSI puede ser programado independientemente de la operación del HSI, el estado de las terminales de entrada es indicado por cuatro bits del registro HSI\_STATUS por lo que los pines pueden ser también de entrada.

#### **Salidas de Alta Velocidad (HSO).**

La unidad HSO puede generar eventos a valores específicos del Timer1 y Timer2 con un mínimo gasto del CPU. Arriba de ocho eventos pendientes pueden ser almacenados en el CAM (*Content Addressable Memory*), de la unidad del HSO, a la vez.

Catorce diferentes tipos de eventos pueden ocurrir en el HSO: 8 externos y 7 internos. Hay dos vectores de interrupciones asociados con el HSO, uno para eventos externos y otro para eventos internos.

#### **Puerto Serie.**

El puerto serie en el 80C196KC dispone de 4 modos diferentes de operación: uno síncrono y tres asíncronos. Los modos asíncronos son "full duplex". Tiene la capacidad de recibir un segundo byte antes de que el primero haya sido leído, así como de escribir 2 bytes a la vez.

El baudaje es generado en un contador independiente de 15 bits, en el pin T2CLK o en el pin XTAL1. Un baudaje máximo de 1Mbaud es disponible en el modo asíncrono con 16 MHz en XTAL1. El modo síncrono tiene un baudaje máximo de 4.0 Mbaud con un reloj de 16 MHz.

#### **Convertidor A/D.**

El convertidor A/D consta de un "sample and hold", un multiplexor de 8 canales, y un convertidor A/D de aproximaciones sucesivas de 8 o 10 bits.

Señales analógicas pueden ser muestreadas por cualquiera de los 8 terminales de entradas analógicas (ACH0 a ACH7), las cuales son compartidas con el Puerto 0. Una conversión A/D es realizada en una entrada a la vez usando aproximaciones sucesivas con un resultado igual a el voltaje de entrada dividido por el voltaje analógico de polarización. Si la razón es 1.00, entonces el resultado será todos unos. Una conversión puede iniciarse escribiendo en el registro A/D\_COMMAND o por un comando HSO.

#### **Puertos de Entrada/Salida.**

Hay cinco puertos de entrada/salida de 8 bits en el 80C196KC. Algunos son únicamente de entrada, otros son únicamente de salida, otros son bidireccionales y otros tienen funciones múltiples. Además de estos puertos, las líneas del HSI/O pueden ser usadas como líneas estándar de entrada/salida.

El Puerto 0 es un puerto de entrada el cual es también la entrada analógica para el convertidor A/D. El Puerto 1 es un puerto quasi-bidireccional. Los tres MSBs del Puerto 1 son multiplexados con las funciones HOLD/HLDA. Además, las dos salidas extras del PWM son multiplexadas en el puerto 1.4 y 1.3. El puerto 2 tiene tres tipos de pines: quasi-bidireccionales, entrada y salidas. Las líneas de entradas y salidas son compartidas por otras funciones. Los puertos 3 y 4 son de drain abierto y bidireccionales, los cuales comparten sus salidas con el bus de direcciones y datos.

### **III.1-d Interrupciones.**

El 80C196KC cuenta con 28 fuentes de interrupción. Estas fuentes están agrupadas en 15 vectores más los vectores especiales para NMI (*Non-Maskable Interrupt*), el TRAP y para códigos no implementados.

#### **Control de Interrupciones.**

- **Registro de Interrupciones Pendientes.** Cuando el hardware detecta una interrupción, coloca el correspondiente bit en uno de dos registros de interrupciones pendientes (INT\_PEND e INT\_PEND1). Cuando se toma el vector de interrupciones, el bit de "pendiente" es limpiado. Estos registros pueden ser leídos para determinar cuál de las interrupciones está pendiente a cualquier tiempo dado, o modificarlos, ya sea para limpiar las interrupciones pendientes o generar interrupciones bajo control de software.

- **Registro de Interrupciones Mascaradas.** Interrupciones individuales pueden ser habilitadas o deshabilitadas mediante el manejo de bits en los registros de interrupciones mascaradas (INT\_MASK e INT\_MASK1). En dichos registros se puede leer o escribir como registros tipo byte. Un uno lógico en cualquier bit habilitará la correspondiente fuente de interrupción, mientras que un cero lógico la deshabilitará.

#### **Prioridades de Interrupciones.**

El codificador de prioridad busca en todas las interrupciones para ver cuál está pendiente y habilitada y selecciona la que tiene la prioridad más alta. Entonces, el generador de interrupciones activa una llamada a la localidad del vector indicado. Esta localidad será la de inicio del ISR (*Interrupt Service Routine*).

Esta selección de prioridad controla el orden en el cuál las interrupciones pendientes son "llevadas" al software a través de una llamada de interrupción.

### **III.1-e PTS.**

El PTS (*Peripheral Transaction Server*) realiza un acceso directo a memoria (DMA) como respuesta a una interrupción con mucho menos carga para el CPU. Soporta modos de transferencia simples y de bloque, además de un modo para atender al convertidor A/D y el HSI/O. Cualquiera de los 15 vectores de interrupciones pueden ser mapeados alternativamente a su respectivo canal PTS.

#### **Control del PTS.**

Todos los canales PTS tienen mayor prioridad que cualquier interrupción, excepto la NMI. Cada vector PTS apunta a un bloque de control PTS (PTSCB) el cual tiene que residir en el espacio de RAM interna en una dirección divisible entre 8.

Los bytes que no se usen en los PTSs pueden ser utilizados como localidades normales de RAM. El PTS tiene que ser inicializado por el usuario antes de habilitar el canal PTS.

El PTS es globalmente habilitado por el bit PSE (*Peripheral transaction Server Enable*) en el PSW.

El PTS tiene 5 modos de operación:

- Transferencia Simple.
- Transferencia por Bloque.
- Modo A/D.
- Modo HSI.
- Modo HSO.

Una transferencia simple toma 18 estados + 3 por cada referencia del controlador de memoria.

Un ciclo de PTS de transferencia de bloque toma 13 estados + 7 por cada transferencia (1 mínimo) + 3 por cada referencia del controlador de memoria.

### III.2 HERRAMIENTAS DE SOFTWARE.

Una herramienta importante para el desarrollo de diseños con microcontroladores lo representa las utilerías de software que son utilizadas en el trabajo de programación.

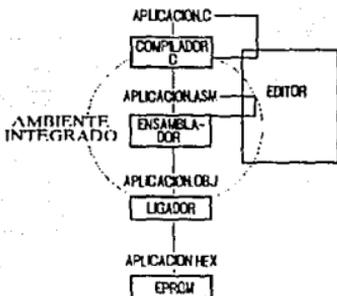
En los últimos años, se ha despertado un creciente interés en el desarrollo de software que permita al usuario una mejor interacción entre la programación de los dispositivos inteligentes; esta tendencia, pretende "liberar" al usuario de la necesidad de programar en lenguaje ensamblador y utilizar un lenguaje de mayor nivel (como C) que permita una mejor flexibilidad en la tarea de diseño.

Utilizando esta herramienta, se puede crear un programa en forma estructurada (ventaja inherente al uso de un compilador C, si es el caso) y obtener un archivo con formato .HEX para ser grabado directamente en la memoria.

AVOCET SYSTEMS INC. es una compañía con experiencia en esta área. Tiene en el mercado un compilador de C para la familia 80X96 de microcontroladores (AvCase 8096 C) que respeta el ANSI C.

En la Figura III-4 se puede apreciar (mediante diagrama de bloques) la forma en la que está constituido el ambiente integrado del AvCase. En ella se puede observar la forma

en que están interrelacionados los programas del compilador de C, el ensamblador y el ligador.



**Figura III-4 Ambiente integrado del AVCASE96.**

El compilador 8096 está provisto de un conjunto de opciones que proporcionan un mejor control en el proceso de compilación (opciones como la de compilar pero no ligar, generar un archivo mapa al correr el ligador, cambiar las localidades de memoria del sistema, utilizar el optimizador, etc.), éstas pueden ser especificadas en 3 lugares: en un archivo de configuración maestro, un archivo de configuración local o el comando de línea del compilador.

El archivo de configuración maestro establece las opciones que el compilador toma en cuenta para cada compilación, a menos que queden reestructuradas mediante el archivo local de configuración o mediante el comando de línea, donde pueden establecerse las opciones que el usuario considere convenientes para su diseño.

El compilador por default asume las siguientes localidades de memoria para los sistemas 8096 o 80196.

DIRECCIONES	DESCRIPCION
001A-00FF	RAM INTERNA
0100-1FFD	RAM EXTERNA
2000-2013	ROM (VECTORES DE INTERRUPCION)
2080-FFFF	ROM(CODIGO Y DATOS)

Por supuesto, el usuario puede cambiar estas localidades según sea su conveniencia.

Se cuenta con un conjunto de librerías del C estándar divididas en dos (la estándar y la punto flotante), donde se ha tratado de proveer las funciones convencionales que tienen sentido en un sistema basado en microcontroladores, además de algunas extensiones de hardware y omitiendo aquellas que tienen sentido sólo en el contexto de un sistema operativo (por ejemplo el manejo de archivos).

En el archivo "include" estándar del AVC96 se incluyen los siguientes archivos:

<b>8096.h</b>	Definiciones de SFR's y otras constantes relacionadas con hardware.
<b>assert.h</b>	Definición del macro <i>assert</i> .
<b>conio.h</b>	Prototipos de funciones de la "consola" (usadas en el puerto serie).
<b>ctype.h</b>	Definiciones de clasificación de carácter.
<b>float.h</b>	Definición de constantes en los datos de tipo punto flotante.
<b>intrpt.h</b>	Definición de los macros <i>ei</i> , <i>di</i> , y <i>set_vector</i> .
<b>limits.h</b>	Definición de constantes en los datos de tipo entero.
<b>math.h</b>	Prototipos de las funciones matemáticas de punto flotante.
<b>portab.h</b>	Redefiniciones de tipos para permitir portabilidad.
<b>setjmp.h</b>	Prototipos para <i>setjmp</i> and <i>longjmp</i> .
<b>stdarg.h</b>	Definición de los macros <i>va_start</i> , <i>va_end</i> y <i>va_arg</i> .
<b>stddef.h</b>	Definición de las constantes y los tipos estándar <i>offsetof</i> .
<b>stdio.h</b>	Prototipos para cadenas de entrada-salida.
<b>stdlib.h</b>	Prototipos para <i>atoi</i> .
<b>string.h</b>	Prototipos para funciones de cadenas.
<b>sys.h</b>	Prototipos para <i>sbrk</i> .

## **CAPITULO IV**

# **DISEÑO DEL SISTEMA**

## IV.1 SECCION ANALOGICA.

## IV.1-a Multiplexores Analógicos.

A las entradas analógicas del sistema se le realiza un multiplexaje de dos etapas, ésto es porque las señales de entrada se pueden manejar de dos formas, como entradas diferenciales y como entradas referenciadas a común (*single ended*). La primera etapa se realiza mediante dos CI's HI-506A, estos CI's cuentan con 16 canales analógicos de entrada y 4 líneas de selección. Entre las principales características de estos circuitos se tienen:

- Protección contra sobrevoltaje: 70V<sub>p-p</sub>.
- No hay interacción de canales durante el sobrevoltaje.
- Resistencia a descargas estáticas: 4,000V.
- Evita el fenómeno de "latch-up".
- Rango de la señal de entrada:  $\pm 5V$
- Tiempo de acceso (típico): 500 ns.
- Consumo de potencia: 7.5 mW.

La segunda etapa de multiplexado se lleva a cabo mediante el CI HI-509A, el cual es un multiplexor analógico de 4 canales diferenciales de entradas analógicas y 2 líneas de selección. Cuenta con las mismas características mencionadas para el HI-506A. La Tabla IV-1 muestra el comportamiento de este multiplexor en el diseño.

CD5	CD4	SELECCION	SALIDA
0	0	1	Diferencial
0	1	2	+ VA referido a tierra
1	0	3	- VA referido a tierra
1	1	4	Nula

TABLA IV-1 Selección del canal.

En la Figura IV-1 aparece el diagrama esquemático de la sección de multiplexores.

## IV.1-b Amplificación de Ganancia Programable.

Después de la etapa de multiplexado se realiza un proceso de amplificación, el cual se realiza mediante el CI PGA201 (Amplificador de Ganancia Programable). La elección de

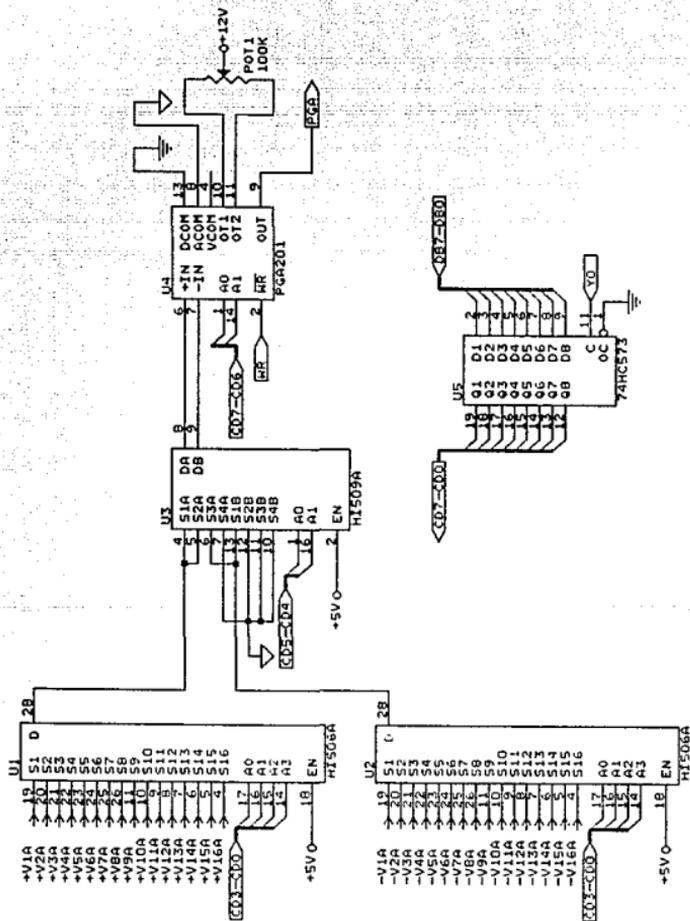


Figura IV-1 Multiplexaje y Amplificación.

DATALOGGER PARA DATOS AMBIENTALES Y METEOROLOGICOS, PARA IBM PC/XT/AT Y COMPATIBLES	
TITULO	TESIS
Size Document Number	A
MULTIPLAXAJE Y AMPLIFICACION	CDG
Date: December 8, 1993	Sheet 1 of 1

este circuito se debe a que, tanto los equipos analizadores de contaminantes como los monitores meteorológicos tienen un voltaje de salida a máxima escala dentro de los siguientes:

- 10 V.
- 5 V.
- 1 V.
- 100 mV.
- 20 mV.

A <sub>1</sub>	A <sub>0</sub>	$\overline{WR}$	GANANCIA DEL PGA200
X	X	↑	Mantiene la ganancia previa
0	0	0	1
0	1	0	8
1	0	0	64
1	1	0	512

**TABLA IV-2** *Tabla de verdad de la selección de ganancia.*

La ganancia de este amplificador se programa externamente de tal modo que se pueden tener ganancias de 1, 8, 64 o 512. Dichas ganancias se seleccionan mediante las líneas A<sub>0</sub> y A<sub>1</sub>, mientras que la línea WR provee una función latch. Cuando WR está en cero lógico, el latch es transparente y la ganancia sigue directamente el código en A<sub>0</sub> y A<sub>1</sub>. Cuando WR va a uno lógico, la ganancia se mantiene en el estado previo de A<sub>0</sub> y A<sub>1</sub>.

Mediante un potenciómetro entre los pines 10 y 11, con el cursor a Vcc, se puede ajustar el offset de salida. La implementación del PGA se muestra en la Figura IV-1.

#### **IV.1-c Muestreo y Retén.**

A la salida de la etapa de amplificación se realiza un proceso de muestreo y retén mediante el CI LF398A, el cual tiene las siguientes características principales:

- Opera con polarización desde  $\pm 5V$  hasta  $\pm 18V$ .
- Tiempo de adquisición: 10  $\mu$ s.
- Entrada lógica compatible con TTL, PMOS y CMOS.
- Bajo offset de entrada.
- Bajo ruido de salida en el modo de mantenimiento o retén.

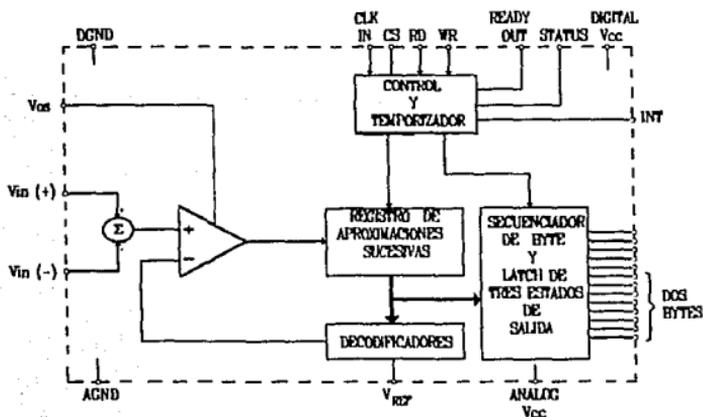
- Las características de entrada no varían durante el modo de mantenimiento.
- Amplio ancho de banda.
- Disipación de potencia (máx): 500 mW.

Un detalle importante en el funcionamiento de este circuito es la elección del capacitor de mantenimiento ( $C_h$ ), ya que de él dependen el paso de mantenimiento, tiempo de adquisición y el rango de caída. Una ayuda que se puede utilizar en la elección de  $C_h$  son las curvas que proporciona el fabricante en cuanto al funcionamiento del circuito dependiendo de  $C_h$ . De acuerdo a dichas curvas, y considerando que se vá a operar a un paso de mantenimiento de 1 mV, el valor de  $C_h$  es de  $0.01 \mu\text{F}$ .

El control de la operación del circuito, ya sea en modo de muestreo o en modo retén, se lleva a cabo mediante los pines de lógica (8) y referencia (7). Dejando el pin 7 a tierra, la operación dependerá del nivel que se tenga en el pin 8. Si se tiene un uno lógico, se trabajará en modo de muestreo; mientras que si se tiene un cero lógico, se estará en el modo retén.

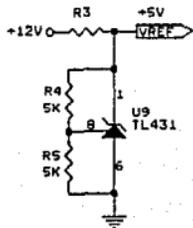
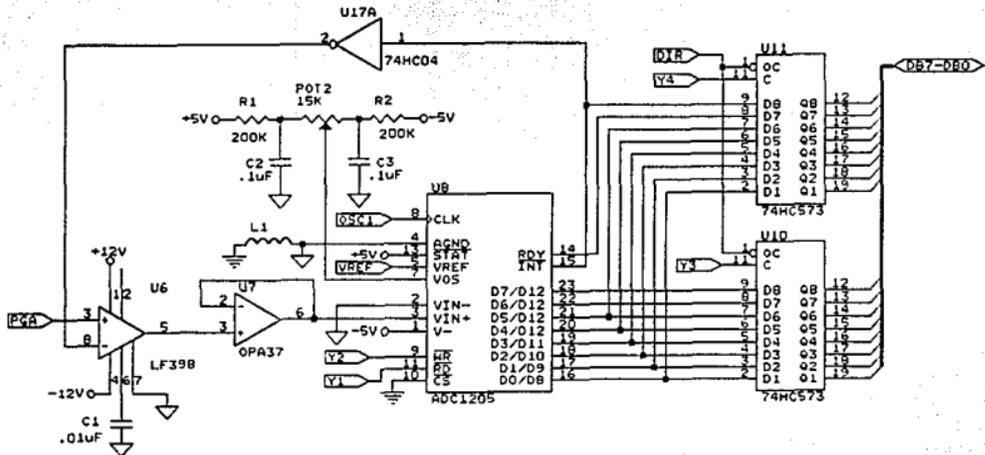
#### IV.1-d Conversión Analógico-Digital.

El siguiente módulo es el de conversión analógico-digital. En este punto primero se tuvo que elegir entre los diferentes tipos de conversión A/D. Entre los más comúnmente



**FIGURA IV-2** Diagrama de bloques del ADC1205.

Figura IV-3 Conversion A/D.



DATALOGGER PARA DATOS AMBIENTALES Y METEOROLOGICOS, PARA IBM PC/XT/AT Y COMPATIBLES		
Title		TESIS
Size	Document Number	REV
A	CONVERSION A/D	CDG
Date: November 27, 1993		Sheet 1 of 1

## DISEÑO DEL SISTEMA

utilizados están los convertidores de rampa, doble rampa y de aproximaciones sucesivas. Los dos primeros tienen el problema de que su tiempo de conversión es relativamente grande (del orden de ms). Por lo tanto se decidió utilizar un convertidor de aproximaciones sucesivas.

Ya que se decidió el tipo de conversión a utilizar, se deben tomar en cuenta, para la elección del convertidor, diferentes aspectos, tales como:

- Resolución.
- Error de linealidad.
- Tiempo de conversión.

La mayoría de los equipos analizadores de contaminantes ambientales y monitores meteorológicos trabajan con una resolución de 10 bits, a excepción del analizador de PM10 que trabaja con un DAC de 12 bits, por lo tanto, esto significa una restricción en la elección del ADC.

Después de haber revisado y comparado convertidores comerciales, se eligió el CI ADC1205, el cual tiene las siguientes características principales:

- Resolución: 12 bits + signo.
- Error de linealidad:  $\pm 1/2$  LSB.
- Tiempo de conversión: 100  $\mu$ s.
- Entrada diferencial de voltaje analógico.
- Potencia baja: 25 mW (máx).

En la Figura IV-2, se puede observar a manera de bloques las partes que integran al convertidor ADC 1205.

### Inicio de la Conversión.

Un borde de bajada en  $\overline{WR}$ , con  $\overline{CS}$  en bajo, inicia la secuencia de conversión.

### Proceso de conversión.

El primer paso en el proceso de conversión es ajustar el signo a positivo (cero lógico) y la entrada del DAC a 000H. Si la entrada diferencial,  $V_{in}(+) - V_{in}(-)$ , es positiva el bit de signo permanecerá en bajo. Si ésta es negativa el bit de signo se irá a alto.

Después de determinar la polaridad de la entrada, la conversión inicia el proceso de aproximaciones sucesivas. El bit más significativo (MSB), B11, tiene una amplitud de  $\frac{1}{2}$  de  $V_{REF}$ . El siguiente bit, B10, tiene una amplitud de  $\frac{1}{4}$   $V_{REF}$ . Cada bit sucesivo es reducido,

en amplitud, por un factor de 2 lo cual da al bit menos significativo (LSB) una amplitud de  $\frac{1}{4096} V_{REF}$

Cuando se prueba el MSB, el comparador compara la salida del DAC,  $\frac{V_{REF}}{2}$ , con la entrada analógica. Si la entrada analógica es mayor que  $\frac{V_{REF}}{2}$  el comparador le indica al registro de aproximaciones sucesivas (SAR) que fije a "1" lógico el MSB. Si la entrada analógica es menor que  $\frac{V_{REF}}{2}$  el comparador le indica al SAR que limpie el MSB. En la siguiente prueba de bit la salida del DAC será, ya sea  $\frac{3}{4} V_{REF}$  o  $\frac{1}{4} V_{REF}$  dependiendo si el MSB está en "1" o "0" lógico. Siguiendo esta secuencia a través de cada bit sucesivo se aproximará la entrada analógica en 1 bit (una parte en 4096).

**Lectura del ADC.**

El CI ADC1205 dispone el resultado de la conversión en dos bytes. El dato es justificado a la derecha y presenta primero la parte alta del resultado (HIGH BYTE). Con CS en bajo y STATUS en alto, el HIGH BYTE (DB12-DB8) se habilitará en los buffers de salida en la primera transición alto-bajo de RD. Cuando RD es bajo por segunda vez, se habilita la parte baja del resultado, LOW BYTE (DB7-DB0).

La Tabla IV-3 muestra la localización de los bits de datos en el ADC1205.

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

**TABLA IV-3 Localización de los bits de datos, ADC1205.**

El pin  $\overline{INT}$  es bajo al final de la conversión e indica que el dato es transferido al latch de salida. Por lo tanto, este pin se utiliza para indicarle al circuito de muestreo y retén el modo en el cual va a operar.

**Referencia de voltaje.**

El voltaje aplicado a la referencia de entrada del convertidor define el rango de la entrada analógica (la diferencia entre  $V_{in(+)}$  y  $V_{in(-)}$ ), sobre el cual los 4096 códigos de salida positivos y los 4096 códigos de salida negativos existen. El ADC puede ser usado en aplicaciones radiométricas o de referencia absoluta.  $V_{REF}$  debe conectarse a una fuente de voltaje capaz de soportar la resistencia de la entrada de referencia (típicamente 4 kΩ).

La referencia de voltaje se obtiene, en este caso, a través del circuito TL431. Dicho circuito es una referencia de voltaje ajustable de precisión. El ajuste del voltaje de salida se realiza mediante el cálculo de dos resistencias. Dicho circuito presenta una desviación de voltaje de  $30 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ , así, considerando un rango de temperatura de  $50^\circ\text{C}$  y que el voltaje de salida será de  $5\text{V}$ , se tendrá una desviación máxima de  $7.5 \text{ mV}$ . Además, la corriente de salida de este circuito puede ser hasta de  $100 \text{ mA}$ , lo cual satisface las necesidades de entrada del ADC, ya que éste requiere una corriente de  $1.25 \text{ mA}$ .

### Entradas analógicas.

Como se puede observar en la Figura IV-3, la cual es un diagrama esquemático del circuito convertidor A/D, las entradas diferenciales del ADC1205 reducen los efectos de ruido de modo común de entrada. El intervalo de tiempo entre el muestreo de la entrada "+" y la entrada "-" es de 4 períodos de reloj. Por lo tanto, un cambio en el voltaje de entrada operando en modo común durante este intervalo puede provocar errores en la conversión.

### Ajuste a cero.

Para ajustar el error de cero, las entradas  $V(+)$  y  $V(-)$  se conectan a tierra, y mediante un arreglo de resistencias conectadas entre  $V_{cc}$  y  $-V_{cc}$  y un potenciómetro, cuyo cursor se conecta a la terminal  $V_{os}$ , se puede realizar el ajuste para que, con estas características a la entrada, se tenga a la salida ceros únicamente.

El ADC1205 necesita una señal de reloj en el pin CLK para su funcionamiento. Esta frecuencia de reloj debe estar en el rango de  $300 \text{ Hz}$  a  $1.5 \text{ MHz}$ , pero el fabricante recomienda una frecuencia de  $1 \text{ MHz}$ .

Además, este convertidor cuenta con algunos medios de protección:

- a) Dos diodos conectados en cada entrada analógica (Figura IV-4a).
- b) Existe un diodo entre  $V_{cc}$  analógica y  $V_{cc}$  digital (Figura IV-4b).

Para garantizar la precisión, se requiere que a las fuentes  $A_{Vcc}$  y  $D_{Vcc}$  se le conecten junto al C.I. un capacitor de by-pass en cada pin de  $V_{cc}$ .

- c) Existe un diodo entre la tierra analógica y la tierra digital (Figura IV-4c).

Para garantizar la precisión, se requiere que la tierra analógica y la tierra digital se conecten juntas externamente, en arreglo estrella y se conecta un inductor entre la tierra analógica y la tierra digital para disminuir el ruido.

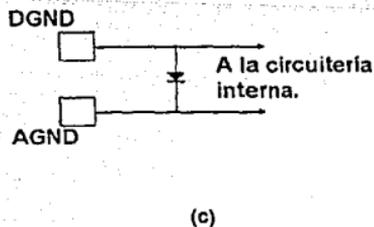
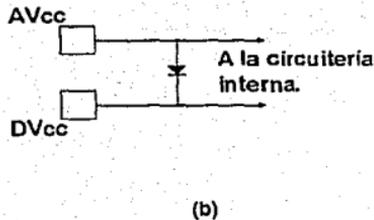
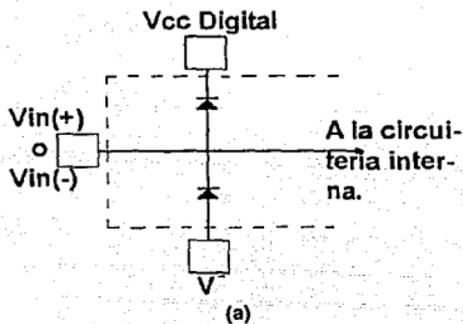


Figura IV-4 Protección interna con diodos.

### IV.2 SECCION DIGITAL.

#### IV.2-a Latch a la salida del ADC.

Las salidas del ADC se conectan, mediante unos latches, al bus de datos. Los CI utilizados para realizar esta función son dos CI's 74HC573, los cuales son latches octal tipo D con salida de tres estados.

Los 8 latches son transparentes tipo D. Cuando el habilitador (C) es "alto" las salidas (Q) responderán a los datos de entrada (D). Cuando el habilitador es "bajo" las salidas almacenarán el dato anterior.

La terminal de control de salida ( $\overline{OC}$ ) se usa para poner las ocho salidas ya sea en un estado lógico normal (niveles alto o bajo) o un estado de alta impedancia.

$\overline{OC}$  no afecta la operación interna de los latches. Los datos anteriores pueden ser retenidos o nuevos datos pueden ser registrados cuando las salidas están en estado de alta impedancia.

La Figura IV-5, muestra la interconexión entre el  $\mu c$  y el A/D.

#### IV.2-b CPU.

El módulo principal del sistema es el correspondiente al CPU, en el cual se utiliza el microcontrolador de Intel 80C196KC.

La justificación de este circuito se encierra, principalmente, en los siguientes puntos:

- Para su ciclo de máquina, trabaja a una velocidad igual a la mitad de su frecuencia de reloj, lo cual, como se va a trabajar a una frecuencia de reloj de 16 MHz, operará a 8 MHz (125 ns).
- Realiza operaciones de tipo byte, palabra y doble palabra. El trabajar con palabras o dobles palabras reduce considerablemente el tiempo de procesamiento, esto es de gran importancia ya que es posible realizar un preprocesamiento a la información.
- La velocidad de procesamiento es un punto importante, ya que el CPU tiene que atender los 16 canales analógicos, realizar la conversión A/D, obtener promedios, almacenar datos; además de atender la interfase con la PC (Memoria Doble Puerto); las entradas/salidas digitales, y contemplar la posibilidad de contar con una comunicación serial.
- Se cuenta con un compilador de C para programar el circuito. Dicha herramienta facilita, en gran medida, la programación del mismo, ya que en lugar de programar en bajo nivel, se puede hacer en alto nivel (con las ventajas que esto implica).

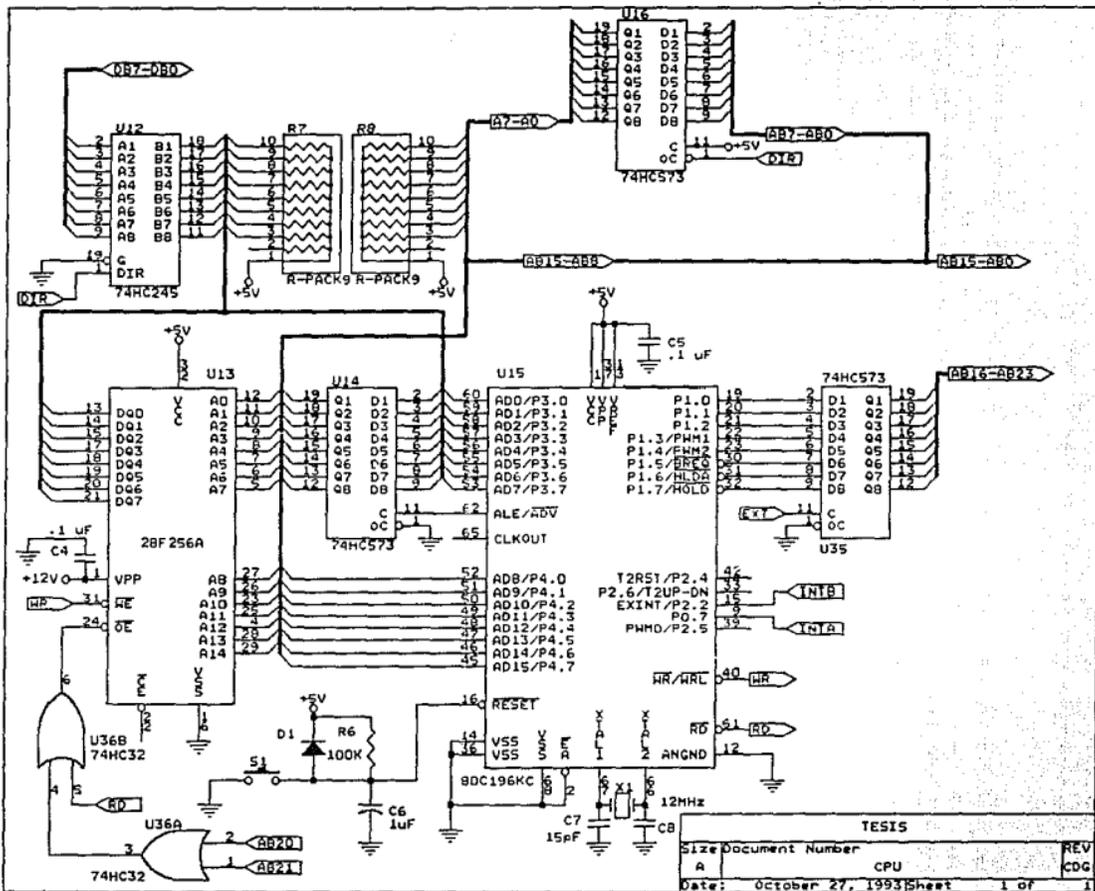


Figura IV-5 CPU.

TESIS		
Size Document Number	CPU	REV
A		CDG
Date: October 27, 1993	Sheet	1 of 1

El CPU es el dispositivo que controla el proceso del sistema, tiene como funciones principales las siguientes:

- Captura todos los datos provenientes de las 16 entradas analógicas y entradas y salidas digitales.
- Controla la habilitación de los dispositivos para realizar los muestreos.
- Procesa la información de las muestras y las etiqueta para su reconocimiento.
- Calcula promedios de 1, 5, 10, 15, 30 y 60 min. según sea programado.
- Almacena la información.
- Calcula la desviación estándar de la dirección horizontal del viento (vea Apéndice C).
- Se comunica con la PC a través de una interfase manejando memoria doble puerto.

Los SIP's de resistencias (ver Figura IV-5) se deben a que las salidas de los puertos P3 y P4 del  $\mu$ C son de drain abierto.

El latch U35 normalmente se encuentra almacenando el dato. Sólo cuando se presenta un estado bajo en EXT permite que los datos de entrada sean transferidos a la salida. Esto es hecho cuando se quiere ampliar el bus de direcciones. Por el momento el puerto P1 no se va a utilizar en alguna función especial, pero se utiliza el latch para futuras aplicaciones de la tarjeta.

### IV.2.c Mapa de Memoria.

El microcontrolador cuenta con espacio de memoria de propósito especial y espacio de memoria de propósito general.

Como se mostró en el Capítulo III, el espacio de memoria del  $\mu$ C está dividido como se muestra a continuación:

Direcciones de propósito especial:

0000H  $\Rightarrow$  01FFH } 512 bytes  
1FFEH  $\Rightarrow$  2080H } 131 bytes

Direcciones de propósito general (libres):

0200H  $\Rightarrow$  1FFDH } 7,678 bytes  
2081H  $\Rightarrow$  FFFFH } 57,215 bytes

La distribución del espacio de usuario comprendido de la localidad 2081H a la FFFFH se muestra en la Figura IV-6.

#### IV.2-d Memoria de Programa.

Para la memoria de programa se utiliza una memoria tipo Flash de INTEL, la 28F256A.

El uso de la memoria tipo Flash se debe, entre otras cosas, a la facilidad que presenta dicho circuito para la reprogramación. Así, si se quiere modificar algún aspecto del programa, se puede hacer directamente desde la PC. Además, esta tecnología presenta grandes ventajas con respecto a las memorias convencionales (ROM, EPROM, EEPROM, DRAM y SRAM).

Es necesaria la presencia de un cierto nivel de voltaje en la terminal Vpp para poder modificar el contenido de la memoria, ya sea para borrar o para programar.

La memoria 28F256A tiene una capacidad de 32 kbytes, por lo que cuenta con 15 líneas de direcciones (A<sub>0</sub>-A<sub>14</sub>) y 8 de datos (DQ<sub>0</sub>-DQ<sub>7</sub>).

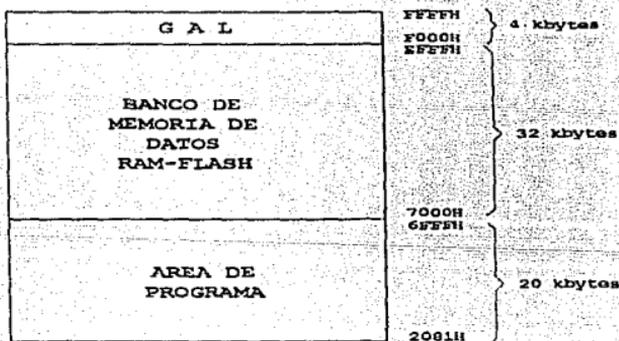


Figura IV-6 Mapa de Memoria del Sistema.

Entre las características principales de este circuito se encuentran:

- Tiempo típico de borrado del chip: 1 s.
- Tiempo típico de programación de byte: 10  $\mu$ s.
- Tiempo típico de programación del chip: 0.5 s.
- 100,000 ciclos, típico, de borrado y programación.
- $V_{pp}$ : 12 V  $\pm$  5%
- Tiempo máximo de acceso: 120 ns.
- Consumo típico de corriente en estado activo: 10 mA.
- Consumo típico de corriente de standby: 50  $\mu$ A.
- Consumo de potencia en retención de datos: 0 W.
- Arquitectura de registros de comandos compatible con microprocesadores y microcontroladores.
- Tolerancia de  $V_{cc}$ :  $\pm$  10%.
- Máxima inmunidad contra el Latch-Up.
- Tecnología no volátil.

Además, cuenta con terminales de control, tales como  $\overline{CE}$ ,  $\overline{OE}$  y  $\overline{WE}$ , con las cuales se puede habilitar o deshabilitar el circuito, así como controlar la escritura del mismo.

Existen dos modos de operación: de sólo lectura, y de lectura y escritura. Para el primer caso se necesita que  $V_{pp} = V_{ppL}$  (0 V); mientras que para el segundo,  $V_{pp} = V_{ppH}$  (12 V). Por lo tanto, si se quisiera trabajar en ambos modos se tendría que conmutar, en la terminal  $V_{pp}$ , entre 0V y 12V, lo cual implica circuitería extra. En el caso de este diseño, se deja  $V_{pp}$  fijo a +12V, y así se podrá tanto leer como escribir la memoria dependiendo, únicamente, de la información existente en las terminales de control.

#### **Algoritmo de programación rápida.**

Este algoritmo usa operaciones de programación de 10  $\mu$ s de duración. Cada operación es seguida por un byte de verificación que determina cuando el byte direccionado ha sido programado satisfactoriamente. El algoritmo permite hasta 25 operaciones de programación por byte, aunque la mayoría de los bytes verifican en la primera o segunda operación.

#### **Algoritmo de borrado rápido.**

Este algoritmo permite un rápido y preciso borrado eléctrico del contenido de la memoria. El algoritmo emplea un flujo de lazo cerrado, similar al algoritmo de PROGRAMACION RAPIDA, removiendo la carga, simultáneamente, de los bits en el arreglo. El proceso de borrado comienza con una lectura del contenido de la memoria. La 28F256A es borrado cuando sale de fábrica. Si se lee el dato FFH, la memoria se puede programar inmediatamente.

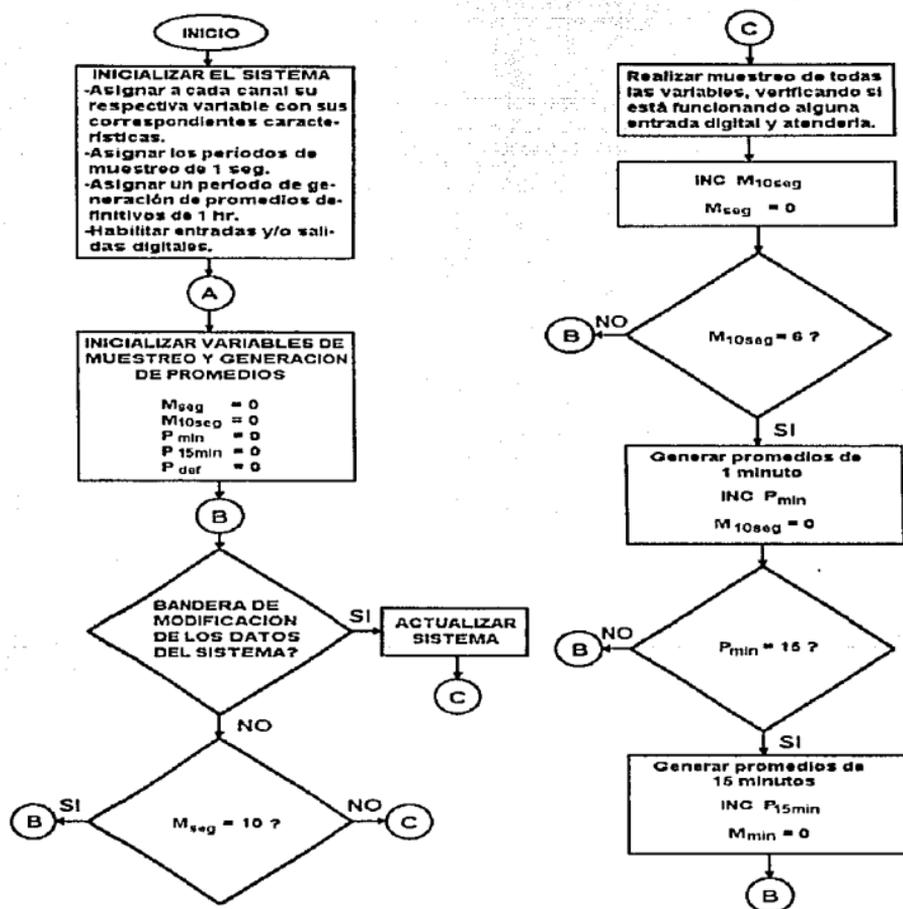
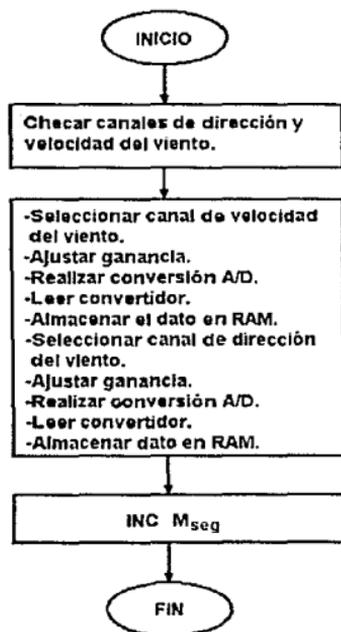


Figura IV-7 Diagrama de Flujo General.

INTERRUPCIÓN DE MUESTREO DE 1 seg.



INTERRUPCIÓN DE GENERACION DE PROMEDIOS DEFINITIVOS

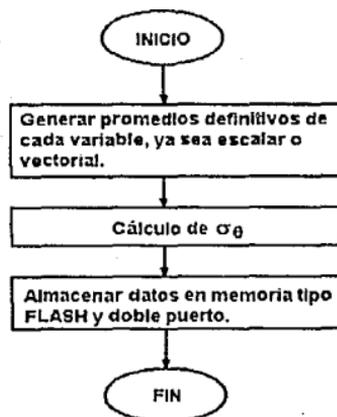


Figura IV-7 (cont.) Interrupciones.

Para circuitos que van a ser borrados y reprogramados, un borrado uniforme y preciso se logra programando primero todos los bits del dispositivo con su estado de carga (dato=00H). Esto se lleva a cabo, usando este algoritmo, en aproximadamente medio segundo.

La ejecución de borrado continúa con una operación inicial de borrado. La verificación de borrado (dato=FFH) comienza en la dirección 0000H y continua a través del arreglo hasta la última dirección, o hasta que un dato diferente a FFH es encontrado. Con cada operación de borrado, un incremento de número de bytes verifican el estado de borrado. Un proceso eficiente de borrado puede ser logrado almacenando la dirección del último byte verificado en un registro, seguido de la siguiente operación de borrado, la verificación comienza en la dirección almacenada. Típicamente, la operación de borrado ocurre en un segundo.

El  $\overline{\text{OE}}$  de la memoria de programa se decodifica mediante las líneas AB20, AB21 y  $\overline{\text{RD}}$ , para que no se traslape en el área de programa de las memorias de datos.

### Algoritmo del Programa del $\mu\text{C}$ .

La programación del  $\mu\text{C}$  se va a realizar, como ya se dijo, utilizando el compilador AVCASE96. La Figura IV-7 muestra el diagrama de flujo general del programa, el cual contempla la lectura de los 16 canales analógicos y las entradas digitales; la amplificación; la conversión A/D; la generación de promedios, el almacenamiento de datos en memoria; el cálculo de la desviación estándar de la dirección horizontal del viento; la interfase y la actualización del sistema.

### IV.2-c Memoria de Datos.

Los datos promediados son almacenados en un banco de 3 memorias RAM (TC55257) y una memoria tipo Flash de 1 Mbyte de capacidad (28F008SA). Los datos muestreados y los promedios parciales son almacenados en las memorias RAM, mientras que los promedios finales se almacenan en la memoria tipo Flash.

El tiempo de generación de los promedios finales dependerá de los intereses del usuario. Los más comunmente utilizados son los promedios horarios, pero hay usuarios que prefieren promedios cada 15 o 30 minutos. Cada promedio final se almacena junto con su respectiva fecha y hora de obtención.

### Banco de Memorias RAM.

Las memorias RAM TC55257 tienen una capacidad de 32 kbytes y tiene un tiempo de acceso máximo de 85 ns. En estas memorias, como ya se mencionó, se almacenaran los datos muestreados y los promedios parciales.

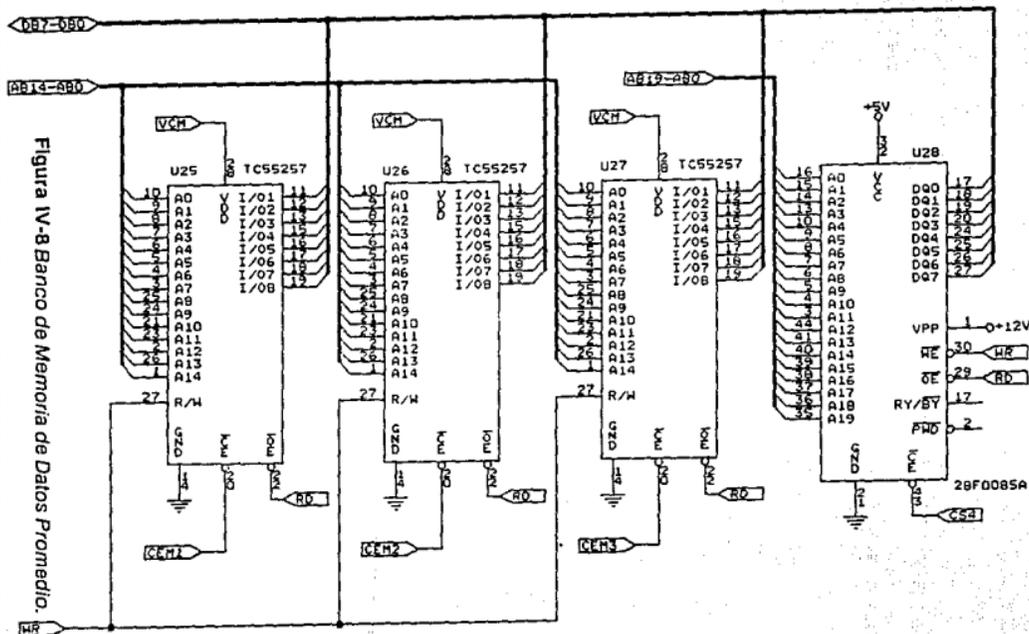


Figura IV-8 Banco de Memoria de Datos Promedio.

DATALOGGER PARA DATOS AMBIENTALES Y METEOROLOGICOS, PARA IBM PC/XT/AT Y COMPATIBLES		
Title	TESIS	
Size	Document Number	REV
A	BANCO DE MEMORIA DE DATOS PROMEDIO	CDG
Date:	October 27, 1993	Sheet 1 of 1

Los datos muestreados por minuto son:

- 60 para la dirección y velocidad del viento.
- 6 para cada una de las demás variables.

Los promedios parciales que se obtendrán podrán ser cada:

- 1 minuto.
- 2 minutos.
- 3 minutos.
- 5 minutos.
- 6 minutos.
- 15 minutos.

Para direccionar las memorias RAM se utilizan 15 líneas del bus de direcciones (AB00-AB14), mientras que 2 líneas del puerto P1 del  $\mu$ C (AB20-AB21) se utilizan para seleccionar, mediante el DS1211, la memoria con la que se va a trabajar.

### Memoria Tipo Flash.

La memoria 28F008SA es del tipo Flash de 1 Mbyte, fabricada por INTEL Semiconductor, pertenece a una segunda generación de memorias Flash, a diferencia de la 28F256A que corresponde a la primera generación.

Esta memoria ofrece varias ventajas, además de su evidente gran capacidad de almacenamiento (1 Mbyte), entre las que se pueden resaltar:

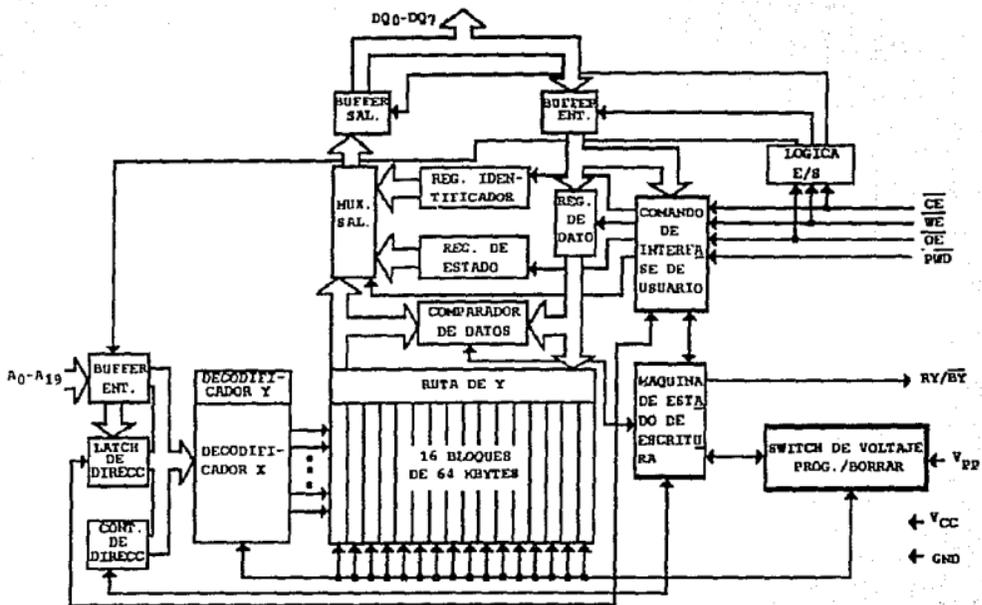
- Mayor velocidad.
- Para los ciclos de borrado se puede ver a la memoria como 64 bloques de 16 kbytes cada uno, pudiéndose borrar un bloque en un tiempo típico de 1.6 s.
- Tiempo de acceso máximo: 85 ns (igual al de las memorias RAM a utilizar).
- Presenta Comando de Interfase de Usuario.
- Tiene un Registro de Estado.
- Cuenta con una interfase de escritura compatible con SRAM.

El Comando de Interfase de Usuario sirve como interfase entre el microcontrolador y la operación interna del 28F008SA.

La máquina de estado de escritura (WSM) ejecuta, automáticamente, el algoritmo necesario para las operaciones de escritura de byte y borrado de bloque, incluyendo verificación.

La salida  $\overline{RY/BY}$  proporciona un indicador adicional de la actividad del WSM. Cuando es baja,  $\overline{RY/BY}$  indica que el WSM está desarrollando una operación de borrado de bloque o escritura de byte. Un estado alto de  $\overline{RY/BY}$  indica que WSM está listo para

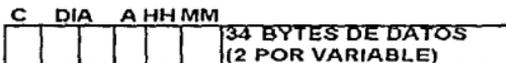
Figura IV-9 Diagrama de bloques del CI 28F0085A.



nuevos comandos, el borrado de bloque es suspendido o el dispositivo está en el modo de bajo consumo de potencia. El diagrama de bloques de esta memoria se muestra en la Figura IV-9.

El direccionamiento de esta memoria se realiza mediante 16 líneas del bus de direcciones (AB00-AB15) y 4 líneas del puerto P1 del  $\mu$ C (AB16-AB19).

En esta memoria, como se van a almacenar promedios finales, los cuales pueden ser horarios, de cada 15 minutos o de cada 30 minutos. Tomando en cuenta que el dato final almacenado tendrá el siguiente formato:



**C:** Palabra de control que identifica el inicio de un ciclo.

**DÍA:** Día JULIANO (0-365).

**A:** Año.

**VARIABLES:** 16 CANALES +  $\sigma_0$

se necesitan 40 bytes por hora para registrar los promedios (1 para la palabra de control, 2 para el día juliano, 1 para el año, 1 para las horas, 1 para los minutos, y 34 para las variables), lo cual quiere decir que, con una memoria de 1 Mbyte y considerando el mejor de los casos (promedios horarios), se tiene un período de almacenamiento de: 26,214 horas  $\Rightarrow$  1 092 días, 6 horas.

#### IV.2-f Watchdog Timekeeper para generar Interrupciones de Tiempos de Muestreo.

Para el proceso de la generación de interrupciones de tiempos de muestreo se utiliza el CI DS1286, de DALLAS Semiconductor. Dicho circuito puede proporcionar dos interrupciones, las cuales se programan externamente el período de interrupción. Para este diseño, se seleccionan:

- Para el muestreo de cada segundo.
- Para la generación de promedios finales (dato que depende del usuario).

#### Descripción.

El DS1286 es un Watchdog Timekeeper que contiene reloj de tiempo real, alarma, watchdog timer, y temporizador de intervalos. Además, contiene en su encapsulado una fuente de energía de litio y un cristal de cuarzo, lo cual elimina la necesidad de circuitería externa. Tiene 64 registros de 8 bits que pueden ser leídos o escritos de la misma manera que en una memoria RAM estática. El dato es mantenido en el Watchdog Timekeeper por medio

de un circuito de control inteligente, el cual detecta el estado de Vcc y protege la memoria contra escritura cuando Vcc está fuera de tolerancia. La fuente de energía de litio puede mantener el dato y el tiempo real hasta por 10 años en ausencia de Vcc. La información del Watchdog Timekeeper incluye centésimas de segundo, segundos, minutos, horas, día, mes y año. El dato al final del mes es automáticamente ajustado para meses con menos de 31 días, incluyendo la corrección para años bisiestos. Opera en formato de 24 o 12 horas con un indicador de AM/PM. Provee ventanas de alarma e intervalos de tiempo entre 0.01 hasta 99.99 segundos.

#### **Lectura de registros.**

El DS1286 ejecuta un ciclo de lectura siempre que  $\overline{WE}$  (*Write Enable*) esté desactivado (nivel alto) y  $\overline{CE}$  (*Chip Enable*) y  $\overline{OE}$  (*Output Enable*) estén activados (nivel bajo). La dirección especificada por las seis líneas de dirección (A0-A5) define cual de los 64 registros está siendo accedido.

#### **Escritura de registros.**

El DS1286 está en el modo de escritura siempre que  $\overline{WE}$  y  $\overline{CE}$  están activados, después de que las entradas de direcciones están estables. El último borde de bajada en ocurrir de  $\overline{CE}$  o  $\overline{WE}$  determina el inicio del ciclo de escritura. El ciclo de escritura se termina por el siguiente borde de subida de  $\overline{CE}$  o  $\overline{WE}$ . Todas las líneas de direcciones deben permanecer estables a través de todo el ciclo. La señal de control,  $\overline{OE}$ , debe permanecer inactiva durante los ciclos de escritura para evitar conectarse al bus.  $\overline{WE}$  tiene que regresar a un estado alto para un mínimo estado de recuperación (t<sub>WR</sub>) antes de que se pueda inicializar otro ciclo.

#### **Retención de datos.**

El Watchdog Timekeeper permanece con su capacidad funcional completa cuando Vcc es mayor de 4.5 V y protege contra escritura el contenido de los registros a 4.25 V, típicamente. Un circuito de switcheo se encarga de conmutar entre Vcc y la fuente interna, según sea el caso.

#### **Registros del Watchdog Timekeeper.**

El DS1286 tiene 64 registros, de 8 bits cada uno, que contienen información del tiempo de almacenamiento, alarma, watchdog, control y datos. Los registros de reloj, calendario, alarma y watchdog son localidades de memoria que contienen copias de los datos, externas (accesibles al usuario) e internas. Las copias externas son independientes de las funciones internas excepto que se pueden actualizar periódicamente. Los registros de comandos son afectados por las funciones internas y externas. Los 50 bytes de registros de RAM pueden ser accedidos únicamente desde las direcciones externas y el bus de datos. Los registros 0, 1, 2, 4, 6, 8, 9 y A contienen información de la hora del día y la fecha. La hora del día es almacenada en BCD. También contienen información de la alarma de la hora del día, la cual es almacenada en BCD. El registro B es el Registro de Comandos y la información en este registro está en binario. Los registros C y D son los Registros de la Alarma del

Watchdog, cuya información es almacenada en BCD. Del registro E al 3F son bytes disponibles para el usuario y se pueden usar para almacenar datos a conveniencia del usuario.

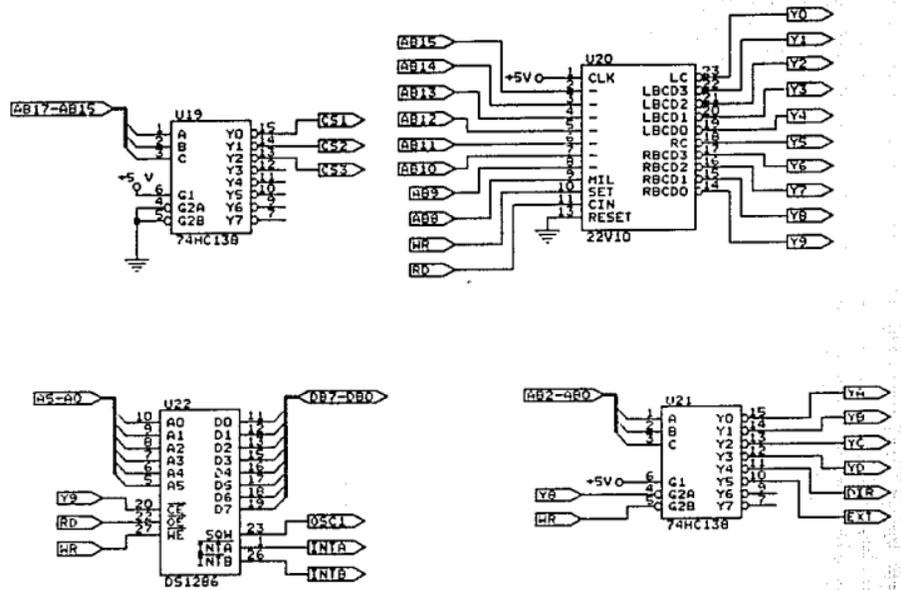
DIRECCIONES	bit 7								bit 0	RANGO	
REGISTROS DE RELOJ, CALENDARIO Y ALARMAS DE LA HORA DEL DÍA.	0	0.1 segundos	0.01 segundos							00-99	
	1	0	10 segundos	segundos							00-59
	2	0	10 minutos	minutos							00-59
	3	M	Alarma 10m	Alarma min.							00-59
	4	0	<sup>12/24</sup>	<sup>10</sup> a/p	10h	horas					01-12+R/P 00-23
	5	M	<sup>12/24</sup>	<sup>10</sup> a/p	10M	Alarma horas					01-12+R/P 00-23
	6	0	0	0	0	0	días				01-07
REGISTROS DE COMANDOS	7	M	0	0	0	0	Alarma d.			01-07	
	8	0	0	dec. f.	fecha					01-31	
	9	EOSC	ESQ	0	10m.	meses				01-12	
REGISTROS DE LA ALARMA DEL WATCHDOG.	n	décadas años		años						00-99	
	B	TE	TPST	IRM	IP	LO	LVL	WAH	TIM	WAP	TDF
REGISTROS DEL USUARIO	C	0.1 segundos	0.01 segundos							00-99	
	D	10 segundos	segundos							00-99	
E											
3F											

Figura IV-10 Registros del Watchdog-Timekeeper.

Registros de la Hora del Día.

De los 8 registros que contienen la hora del día, 10 bits no se usan y siempre se leerán "cero" a pesar de que se les haya escrito. Los bits 6 y 7 del Registro de Meses (9) son bits binarios. Cuando están en cero lógico, EOSC (bit 7) habilita el oscilador del reloj de tiempo real. Este bit normalmente se encenderá por el usuario durante la inicialización del circuito. Sin embargo; el oscilador puede ser encendido o apagado, según sea necesario, llevando este bit a un nivel apropiado. El bit 6 de este mismo byte controla la salida de forma de onda cuadrada (pin 24), cuando está en cero lógico, la señal de salida del pin 24 oscilará a 1024 Hz, y cuando está en uno lógico, dicha salida presentará un estado de alta impedancia. El bit 6 del Registro de Horas selecciona el modo de 12 o 24 horas. Cuando está en uno lógico

Figura IV-11 Decodificación de Direcciones.



DATALOGGER PARA DATOS AMBIENTALES Y METEOROLOGICOS, PARA IBM PC/XT/AT Y COMPATIBLES		
Title		
TESIS		
Size	Document Number	REV
A	DECODIFICACION DE DIRECCIONES	CDG
Date:	October 27, 1993	Sheet 1 of 1

se selecciona el formato de 12 horas. En el formato de 12 horas, el bit 5 es el seleccionador de AM/PM, siendo PM con uno lógico. En el modo de 24 horas, el bit 5 es para las décadas de hora (20-23 horas). El Registro de la Hora del Día es actualizado cada 0.01 segundos mediante el reloj de tiempo real, excepto cuando el bit TE (*TransferEnable*), bit 7 del registro B, está en un estado bajo o el reloj del oscilador no está corriendo.

El mejor método para sincronizar el acceso de los datos hacia y desde el Watchdog Timekeeper es el acceso del Registro de Comandos realizando un ciclo de escritura en la localidad 0B y ajustando el bit TE a cero lógico. Esto fijará los Registros Externos de la Hora del Día al tiempo presente almacenado, permitiendo que el acceso ocurra sin peligro de actualización simultánea. Cuando el registro del reloj ha sido leído o escrito, un segundo ciclo de escritura en la localidad 0B, ajustando TE a uno lógico, regresará al Registro de la Hora del Día al modo de actualización de cada 0.01 segundos. No se pierde tiempo en el Reloj de Tiempo Real debido a que la copia interna de los buffers del Registro de la Hora del Día continuamente son incrementados cuando los registros de la memoria externa son "congelados".

#### **Registros de la Alarma de la Hora del Día.**

Los registros 3, 5, y 7 contienen los Registros de la Alarma de la Hora del Día. Los bits 3, 4, 5, y 6 del Registro 7 siempre se leerán como cero lógico. El bit 7 de los Registros 3, 5 y 7 son bits mascarados. Cuando todos los bits mascarados están en cero lógico, ocurrirá una Alarma de la Hora del Día únicamente cuando los Registros 2, 4 y 6 igualan los valores almacenados en los Registros 3, 5 y 7. Una alarma se genera cada día si el bit 7 del registro 7 está en uno lógico. Similarmente, una alarma se genera cada hora cuando el bit 7 del registro 7 y 5 está en uno lógico, y una alarma ocurre cada minuto cuando el registro 1 (segundos) conmute de 59 a 00.

Los Registros de la Alarma de la Hora del Día son escritos y leídos en el mismo formato que los Registros de la Hora del Día. La bandera e interrupción de la Alarma de la Hora del Día se limpia siempre que los Registros de la Alarma son leídos o escritos.

#### **Registros de la Alarma del Watchdog.**

Los Registros C y D contienen el tiempo para la alarma del watchdog. Los dos registros contienen un contador de tiempo desde 0.01 hasta 99.99 segundos en BCD. Los Registros de la Alarma del Watchdog pueden ser escritos o leídos en cualquier orden. Cualquier acceso al Registro C o D causa que la Alarma del Watchdog reinicie y limpie el Bit de la Bandera del Watchdog y la Salida de Interrupción del Watchdog. Cuando se introduce un nuevo valor o se lee el Registro del Watchdog, el Temporizador del Watchdog inicia una cuenta hacia abajo desde el valor introducido hasta cero, al llegar a cero, la salida de Interrupción del Watchdog irá al estado activo. El contador se interrumpe y reinicializa con el valor de entrada siempre que alguno de los registros se accesa. Los Registros de la Alarma del Watchdog leen siempre el valor de entrada. Al escribir ceros en los registros C y D se deshabilita la Alarma del Watchdog.

**Registro de Comandos.**

La localidad 0B es el Registro de Comandos donde están los bits mascarados, bits de control, y los bits de banderas. El bit 0 es la Bandera de la Alarma de la Hora del Día (TDF), cuando este bit se habilita ("1" lógico), significa que ha ocurrido una alarma. La hora de la alarma puede ser determinada mediante la lectura de los Registros de la Alarma de la Hora del Día; sin embargo, si el bit de la habilitación de transferencia está en cero lógico, los Registros de la Hora del Día no reflejan exactamente la hora en que ocurrió la alarma. Este bit es únicamente de lectura. El bit 7 se inicializa cuando alguno de los Registros de la Alarma de la Hora del Día es accedido.

El bit 2 del Registro de Comandos contiene el Bit Mascarado de la Alarma de la Hora del Día (TDM). Cuando se escribe un uno lógico en este bit, la Salida de Interrupción de la Alarma de la Hora del Día es desactivada sin hacer caso de la Bandera de la Alarma de la Hora del Día. Cuando TDM está en cero lógico, la Salida de Interrupción de la Hora del Día irá al estado activo el cual es determinado por los bits 0, 4, 5 y 6 del Registro de Comandos.

El bit 3 del Registro de Comandos contiene el Bit Mascarado de la Alarma del Watchdog (WAM). Cuando se escribe un uno lógico en este bit, la Salida de Interrupción del Watchdog se desactiva a pesar del valor que tengan los Registros de la Alarma del Watchdog. Cuando el WAM está en cero lógico, la Salida de Interrupción del Watchdog irá al estado activo el cual se determina por los bits 1, 4, 5 y 6 del Registro de Comandos, estos cuatro bits definen la forma en que operarán los pines de salida de interrupción INTA e INTB (INTB).

El bit 4 del Registro de Comandos determina cual de las interrupciones producirá un pulso o nivel cuando son activados. Si el bit 4 está en uno lógico, se selecciona el modo pulso e INTA será un sumidero de corriente por un mínimo de 3 ms, y entonces se libera. La salida INTB (INTB) será sumidero o fuente de corriente para un mínimo de 3 ms dependiendo del nivel del bit 5. Cuando el bit 5 está en uno lógico, la interrupción B suministrará corriente. Cuando el bit 5 está en cero lógico, la interrupción B será un sumidero de corriente.

El bit 6 del Registro de Comandos determina el tipo de interrupción que se presentará en los pines de interrupción INTA e INTB (INTB). Cuando está en uno lógico, INTA es el Pin de Interrupción de la Alarma de la Hora del Día e INTB (INTB) se convierte en el Pin de Interrupción del Watchdog. Cuando el bit 6 está en cero lógico, las funciones de interrupción son invertidas, así es que la Alarma de la Hora del Día saldrá en INTB (INTB) y la Interrupción del Watchdog saldrá por INTA.

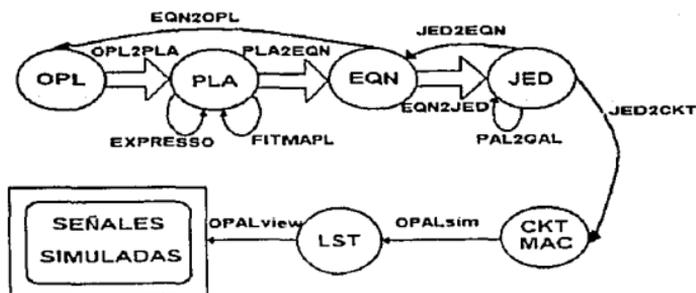
El bit 7 del Registro de Comandos es el habilitador de transferencia. La función de este bit se describió en los Registros de la Hora del Día.

## IV.2-g Decodificación de Direcciones.

La parte principal de decodificación de direcciones se lleva a cabo con el circuito GAL 22V10, el cual presenta una salida de decodificación de 10 líneas, mismas que se distribuyen de la siguiente manera:

- Y0- Habilita el latch U5, el cual a su vez se encarga de direccionar la parte de multiplexaje y amplificación (PGA).
- Y1- Inicia la conversión Analógico-Digital.
- Y2- Habilita el ciclo de lectura del ADC.
- Y3- Habilita el latch U10, el cual se encarga de transferir los 8 bits menos significativos de la salida del ADC, al bus de datos.
- Y4- Habilita el latch U11, que suministra los 4 bits más significativos, así como la bandera de fin de conversión del ADC hacia el bus de datos.
- Y5- Habilita la Memoria Doble Puerto (U37).
- Y6- Habilita el puerto 82C55, U29, de las entradas digitales.
- Y7- Habilita el puerto 82C55, U30, de las entradas digitales.
- Y8- Habilita el decodificador U21.
- Y9- Habilita el Watchdog Timekeeper (U22).

Las direcciones de entrada son de AB8 a AB15, así como  $\overline{RD}$  y  $\overline{WR}$ .



Los círculos indican los formatos de archivo OPAL.  
Las flechas están etiquetadas con el nombre de la herramienta apropiada.  
Las flechas anchas indican la herramienta primaria de diseño.

Figura IV-12 Diagrama de Bloques del OPAL.

Existen paquetes de software que simplifican el trabajar con elementos PLD's, entre los que se encuentra el OPAL (*Open Programmable Architecture Language*), de National Simiconductor. La representación gráfica de dicho software es como se muestra en la Figura IV-12.

Se cuenta con otras dos etapas de decodificación realizadas con circuitos 74HC138. La primera de ellas, U19, tiene como entradas las direcciones A15, A16 y A17; y las salidas son usadas en:

- Y0 (CS1)- Sirve para seleccionar la memoria RAM que se va a acceder.
- Y1 (CS2)- Sirve para seleccionar la memoria RAM que se va a acceder.

La segunda etapa, U21, se encarga de habilitar:

- Y0 (YA)- El latch U31 de las salidas digitales.
- Y1 (YB)- El latch U32 de las salidas digitales.
- Y2 (YC)- El latch U33 de las salidas digitales.
- Y3 (YD)- El latch U34 de las salidas digitales.
- Y4 (DIR)- Determina el sentido del flujo de la información.

### IV.2-h Respaldo de Batería para memorias RAM.

El respaldo de batería para memorias del tipo RAM CMOS, surge a causa de que las memorias de este tipo, por su constitución física son del tipo volátil, lo cual indica que en presencia de energía de la fuente de alimentación, la información de las memorias se mantiene almacenada en ellas, pero cuando hay una falla de energía o el sistema es desenergizado, las memorias pierden la información contenida en ellas (se volatiliza); por lo cual se decidió convertir a las memorias RAM en no volátiles (NVRAM's) por medio de un convertidor de memoria no volátil, para nuestro caso en particular se seleccionó el CI DS1211 de DALLAS SEMICONDUCTOR para conmutar los 5 volts provenientes de la fuente de alimentación en condiciones de operación activa de la memoria al suministro de la batería de litio, en condiciones de reposo (en ausencia de la fuente de 5 volts o en el estado inactivo de la memoria).

El DS1211 es un circuito CMOS, el cual resuelve el problema de aplicación, de convertir RAM's CMOS en memorias no volátiles, el ascenso y descenso de la energía es monitoreado para detectar una condición fuera de tolerancia. Cuando una condición de este tipo es detectada, los chip enables son inhibidos para llevar a cabo protección contra escritura y la batería es conmutada para suministrar o alimentar a las RAM's con energía ininterrumpible. La circuitería especial usa un proceso CMOS de bajo escape o fuga, el cual proporciona una detección de voltaje preciso con un consumo de la batería extremadamente bajo. Combinando el circuito integrado DS1211 decodificador/controlador no volátil y baterías de litio, se puede operar hasta 10 años en promedio para un máximo de 8 memorias CMOS.

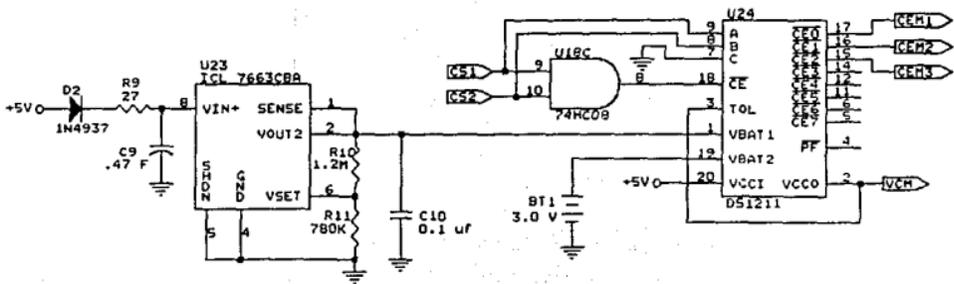


Figura IV-13 Respaldo de Baterías.

119

DATALOGGER PARA DATOS AMBIENTALES Y METEOROLOGICOS, PARA IBM PC/XT/AT Y COMPATIBLES		
Title		
TESIS		
Size	Document Number	REV
A	RESPALDO DE BATERIAS	CDG
Date:	November 26, 1993	Sheet 1 of 1

En la Figura IV-13 se puede apreciar el circuito de respaldo de baterías con las conexiones requeridas para el sistema.

Las características más importantes y sobresalientes de éste circuito se resumen a continuación:

- Convierte completamente RAM's CMOS en memorias no volátiles (NVRAM's).
- Incondicionalmente protege a las memorias contra escritura cuando  $V_{cc}$  está fuera de tolerancia.
- Automáticamente conmuta a la batería cuando ocurre una falla de energía.
- Decodificación de 3 a 8, proporciona control para un máximo de 8 RAM's CMOS.
- Consume menos de 100 nA de corriente de la batería.
- Posee condición de prueba de la batería en el encendido.
- Detección opcional de la falla de energía del 5% o 10% fuera de tolerancia.
- La señal de falla de energía puede ser usada para interrumpir el proceso normal en una condición fuera de tolerancia del suministro.

La detección de falla de potencia se puede realizar al 5% o al 10%. Si la terminal de tolerancia (3) se conecta a tierra, la detección ocurrirá en el rango de 4.75 V a 4.5 V. Si el pin 3 está conectado a  $V_{CCO}$ , la detección ocurrirá en el rango de 4.5 V a 4.23 V. Como las memorias RAM que se van a utilizar (TC55257) tienen un voltaje de retención de datos mínimo de 2 volts, se utilizará la segunda opción (pin 3 a  $V_{CCO}$ ) para que el respaldo de baterías se habilite lo menos posible, garantizando la retención de los datos en las memorias.

Internamente tiene un switch que conmuta a  $V_{CCO}$  entre  $V_{CC1}$  y  $V_{BAT}$ , dependiendo cual sea de mayor magnitud. Así mismo, otro switch interno selecciona la entrada de  $V_{BAT}$  que va a trabajar.

La batería con la que se va a trabajar es de litio, debido a su costo relativamente bajo y a que tienen un voltaje constante durante su vida útil, siempre y cuando el consumo sea menor de 1 mA. En específico, se propone una batería de litio de la marca TOSHIBA tipo CR2032 de 3V/180mAh, por lo tanto el tiempo de respaldo se determina como sigue:

Considerando que la corriente de standby de la memoria a utilizar es, a 25 ° C,  $I_{DSS} = 2 \mu A$ ; y a 70 ° C,  $I_{DSS} = 30 \mu A$ .

A 25 ° C:

$$t = \frac{180 \times 10^{-3} A - h}{(3)(2 \times 10^{-6}) A} = 30,000 \text{ horas} = 1250 \text{ días} = 3.4 \text{ años } (I \leq 1 \text{ mA})$$

A  $70^{\circ}\text{C}$ :

$$t = \frac{180 \times 10^{-3} \text{ A} \cdot \text{h}}{(3)(30 \times 10^{-6}) \text{ A}} = 2,000 \text{ horas} = 83.3 \text{ días } (I \leq 1 \text{ mA})$$

Se puede aumentar el tiempo del respaldo de baterías, basándose en la energía acumulada en un capacitor.

Para ésto se propone un capacitor de  $0.47\text{F @ }5\text{V}$  y un regulador de voltaje (ICL7663SCBA).

Dicho CI es un regulador de voltaje programable, con un rango de voltaje de salida de  $1.6\text{ V}$  a  $16\text{ V}$  y garantiza la regulación de línea y de carga para todo el rango de temperatura de operación.

El voltaje de salida se ajusta con  $R_2$  y  $R_1$  mediante la siguiente expresión:

$$V_{OUT} = \frac{R_2 + R_1}{V_{SET}} ; \text{ donde } V_{SET} (\text{típico}) = 1.3 \text{ V}$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{V_{OUT}}{V_{SET}} - 1$$

$$\text{Si } V_{OUT} = 3.3\text{V} \rightarrow \frac{R_2}{R_1} = 1.5384615$$

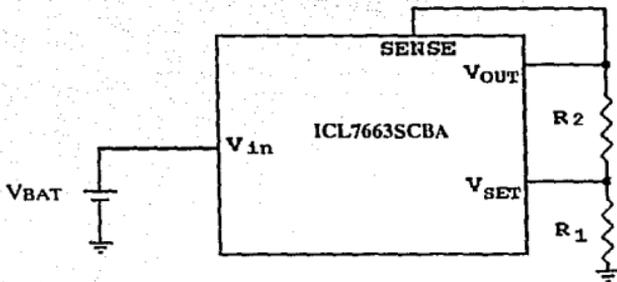


Figura IV-14 Regulador de voltaje.

$$\text{Si } R_2 = 1.2\text{M}\Omega \Rightarrow R_1 = 780\text{ k}\Omega \text{ (} 2 \times 390\text{ k}\Omega \text{)}$$

La presencia del regulador se debe a que el capacitor se va a cargar lo más cercano a 5V, y este voltaje no puede conectarse directamente a VBAT, ya que el máximo voltaje permisible en dicha terminal del DS1211 es de 4V.

Partiendo de la ecuación de la energía almacenada en un capacitor:

$$E_C = \frac{1}{2} C V^2$$

y

$$\Delta E_C = E_{C2} - E_{C1}$$

$$\Delta E_C = \frac{1}{2} C V_2^2 - \frac{1}{2} C V_1^2 = \frac{1}{2} C (V_2^2 - V_1^2)$$

para  $V_2 = 4.8\text{V}$  y  $V_1 = 3.3\text{V}$ :

$$\Delta E_C = 2.85525 \text{ Joules}$$

Se sabe que 1 Joule = 1 Watt segundo,

es decir:

$$E(\text{Energía}) = P(\text{Potencia})t(\text{tiempo})$$

por lo tanto:

$$\Delta E_C = P t = (V I) t$$

$$\text{donde: } V = \frac{4.8\text{V} + 3.3\text{V}}{2} = 4.05\text{V} \quad (\text{Voltaje promedio})$$

$$t_{70} = \frac{\Delta E_C}{V I} = \frac{2.85525 \text{ Joules}}{(4.05\text{V})(3 \times 2 \times 10^{-6}\text{A})} = 7,833.33 \text{ s} = 2.1759 \text{ horas}$$

$$t_{25} = \frac{2.85525}{(4.05\text{V})(3 \times 2 \times 10^{-6}\text{A})} = 11,7500 \text{ s} = 32.639 \text{ horas}$$

Considerando que el respaldo de baterías para las memorias RAM tiene como finalidad respaldar la información en caso de una falla de potencia, se considera que las

interrupciones de potencia no serán por tiempos muy prolongados cuando el dispositivo esté en operación , por lo cual el respaldo de baterías es suficiente.

#### **IV.2-i Entradas y Salidas Digitales (D I/O).**

##### **Entradas Digitales:**

La importancia de contar con una sección de entradas digitales radica en que algunos equipos de medición, ambiental y meteorológica, presentan salidas digitales, por lo cual es conveniente la presencia de este tipo de entradas.

Las entradas digitales se realizan por medio del circuito 82C55A de INTEL, (llamado Interfase Periférica Programable, PPI, o Puerto Paralelo Programable), el cual puede trabajar en uno de tres modos diferentes, mismos que permiten usar el dispositivo en muchos tipos comunes de transferencia paralela de información.

La principal justificación del uso de este circuito se debe a que la mayoría de los equipos de medición con los que se va a trabajar, y que tienen salidas digitales, entregan una corriente mayor a la que podría soportar un circuito latch, mientras que el 82C55A puede fácilmente operar bajo estas condiciones. Además, al poder programar, independientemente, cada uno de los tres puertos con que cuenta dicho circuito, se tiene la opción de poder configurar a cada puerto como entrada o como salida.

El dispositivo cuenta con 3 puertos de I/O A,B y C. Los puertos A y B pueden ser usados como puertos de I/O de 8 bits y el puerto C puede ser usado de tres formas, como un puerto de I/O de 8 bits, como dos puertos de 4 bits o bien para producir señales de protocolo (*handshake*) para los puertos A y B. La interfase periférica puede ser habilitada con una señal proveniente del bus de direcciones del elemento inteligente del sistema (MPU o MCS). A su vez, cada puerto de dicha interfase (A,B o C) puede ser habilitado, independientemente, por medio de las líneas de dirección A0 y A1, y son programados para trabajar en un cierto modo por medio del registro de control que se encuentra dentro de la interfase, el cual se selecciona también por las líneas de dirección A0 y A1. Los modos de trabajo de los PPI's, antes mencionados, se detallan a continuación:

Cualquiera de los modos de operación son seleccionados por medio de una palabra de control en el registro de control.

El modo 0 es cuando se requiere usar un puerto para I/O simple, sin unión de comunicación ó protocolo. Si los puertos A y B son inicializados en el modo 0 las dos mitades del puerto C pueden ser usadas juntas como un puerto adicional de 8 bits, o pueden ser utilizados individualmente como dos puertos de 4 bits. Cuando son usadas como salidas las líneas del puerto C, pueden ser establecidas o restablecidas individualmente, mandando una palabra de control especial a la dirección del registro de control.

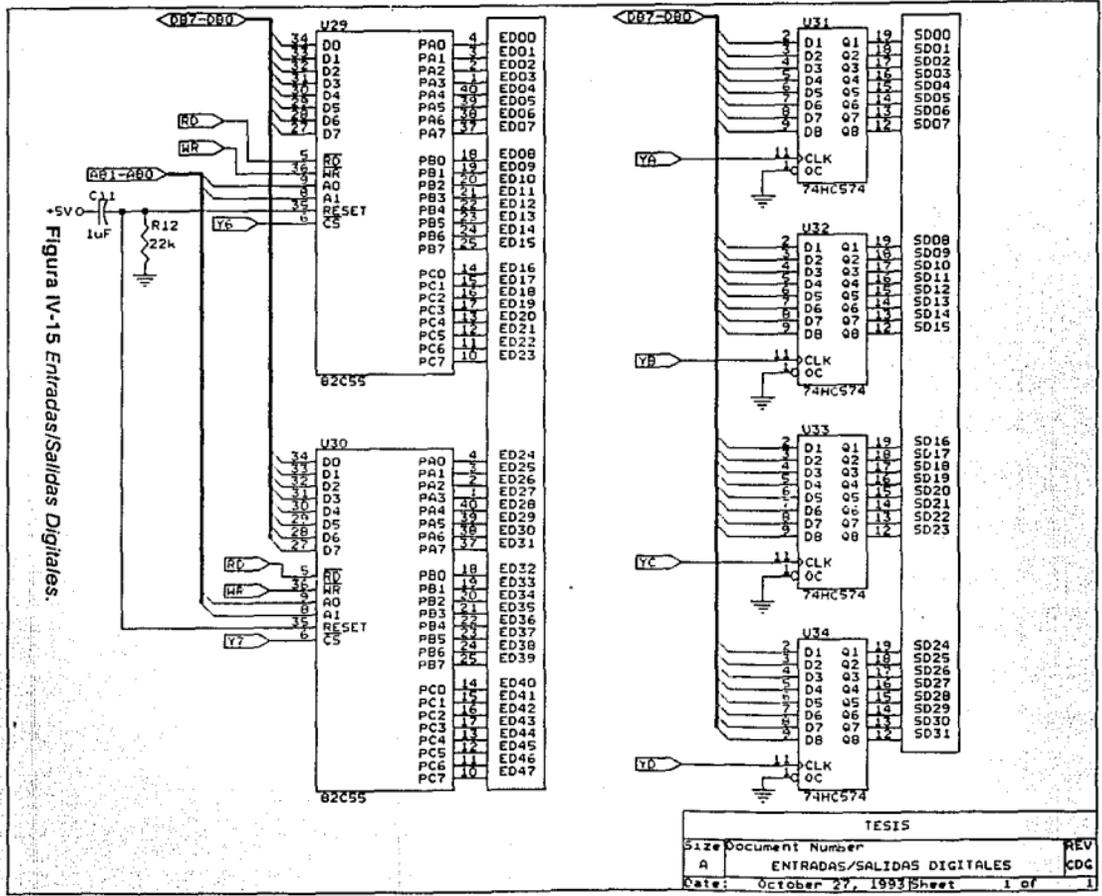


Figura IV-15 Entradas/Salidas Digitales.

TESIS		
Size	Document Number	REV
A	ENTRADAS/SALIDAS DIGITALES	CDG
Date:	October 27, 1993	Sheet 1 of 1

El modo 1 se emplea cuando se requiere usar los puertos A y B para una operación de protocolo de entrada o salida. En este modo, algunas de las terminales del puerto C funcionan como líneas de protocolo. Las terminales PC0, PC1 y PC2 funcionan como líneas de protocolo para el puerto B, si éste es inicializado en el modo 1. Si el puerto A es inicializado como puerto de entrada de protocolo (modo 1), entonces las terminales PC3, PC4 y PC5 funcionan como señales de protocolo, las terminales PC6 y PC7 están disponibles para uso como líneas de entrada o salida. Si el puerto A es inicializado como un puerto de protocolo de salida, entonces las terminales del puerto C (3, 6 y 7) funcionan como señales de protocolo. Las terminales 4 y 5 del puerto C, están disponibles para ser usadas como líneas de entrada o salida.

En el modo 2 (sólo el puerto A puede ser inicializado en este modo) el puerto A puede ser usado para transferencia bidireccional del protocolo de información, esto significa que el dato puede ser transmitido o recibido en las mismas 8 líneas. El 8255A puede ser usado en este modo para extender el bus del sistema de una MPU esclava o para transferir datos byte a byte de un controlador de floppy disk. Si el puerto A es inicializado en el modo 2, entonces las terminales PC3 a PC7 son usadas como líneas de protocolo para el puerto A. Las otras 3 terminales del puerto C pueden ser usadas para líneas de protocolo del puerto B, si éste es inicializado en el modo 1.

### Salidas Digitales:

Una primera opción para realizar las salidas digitales sería pensar en los puertos utilizados para las entradas digitales (82C55A); sin embargo, se pueden presentar casos en los que se tengan varias salidas digitales para realizar funciones de *autospan*, además de tener equipos que proporcionen sus salidas en formato digital. Por lo tanto, no se puede pensar en utilizar los mismos circuitos para desempeñar ambas tareas (entradas y salidas digitales).

Como ya se mencionó, las salidas digitales pueden ser realizadas por medio de interfases periféricas programables (PPI's); pero son costosas y en un caso particular solamente se destinarían como salidas digitales, con lo cual se estaría reduciendo la potencialidad del dispositivo sólo para ese fin; por lo tanto, se emplean componentes más económicos y más sencillos que cumplen con la misma función, sin tener que limitar un componente más capaz como los (PPI's) para dicha tarea.

Dispositivos más sencillos y económicos son llamados flip-flops del tipo "D", los cuales son usados en un banco de 8, para tener la posibilidad de retener el byte del puerto del elemento inteligente del sistema, en forma paralela directa, ya sea que se maneje solamente uno para un bus de 8 bits de datos o bien dos para un bus de 16 bits de datos y así sucesivamente para sistemas más complejos. Para este fin se seleccionó el dispositivo 74HC574, el cual es construido por una gran gama de fabricantes, éste elemento, como se mencionó anteriormente, es un banco de 8 Flip-Flops tipo "D", también conocido como registro de 8 bits, sus salidas son del tipo de tres estados no invertidas, los ocho flip-flops tipo "D" son controlados por los flancos positivos provenientes del reloj que es aplicado al dispositivo, que es una terminal dedicada para tal fin. Este dispositivo tiene un estado

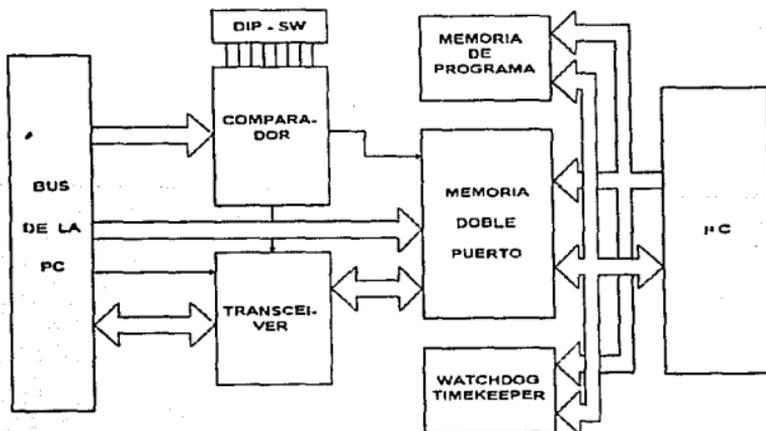
de alta impedancia, en el cual las salidas no drenan corriente significativa para manejar las líneas del bus activamente. El estado de alta impedancia y de nivel lógico alto facilitan la capacidad para manejar las líneas del bus en un sistema de bus organizado, sin la necesidad de usar componentes de interfase o de *pull-up*. En este caso, al igual que con los PPI's trabajando como salidas digitales, los registros (*flip-flops*) descritos anteriormente tienen la misma función de controlar dispositivos externos (periféricos), no olvidando que los registros funcionan exclusivamente como salidas digitales, lo cual significa que trabajan unidireccionalmente.

**IV.2-j Interfase.**

La técnica que se seleccionó para la elaboración de la interfase es la de **MEMORIA DOBLE PUERTO**, debido a:

- Su alta velocidad.
- Relativa sencillez para el desarrollo de la misma.
- Su gran eficiencia.

El circuito elegido para realizar dicha función es el CI **CY7C132-25** de CYPRESS Semiconductor. Dicho circuito es una memoria SRAM de doble puerto de 2 kbytes de



**Figura IV-16 Diagrama de bloques de la Interfase.**

capacidad de almacenamiento. En la Figura IV-18 se muestra el diagrama a bloques de la memoria doble puerto seleccionada.

Este circuito cuenta con dos buses de direcciones y dos de datos (uno para cada puerto). Además, cada puerto tiene terminales de control (CE, WE, OE, BUSY). La señal BUSY señala que el puerto está tratando de acceder a la misma localidad que está siendo accesada por el otro puerto.

El diagrama de bloques de la interfase se muestra en la Figura IV-16, mientras que el mapa de la memoria doble puerto queda configurado como se muestra en la Figura IV-17.

Entre sus principales características de operación se encuentran:

- Máximo tiempo de acceso: 25 ns.
- Máxima corriente de operación: 170 mA.

Para que pueda interactuar la tarjeta con la PC, es necesario decodificar las direcciones de la PC, para que ambas (tarjeta y PC) "vean" el mismo espacio de memoria.

Esto se lleva a cabo mediante un comparador (74HC682), un DIPSWITCH de ocho y un transceiver bidireccional (74HC245) para el bus de datos.

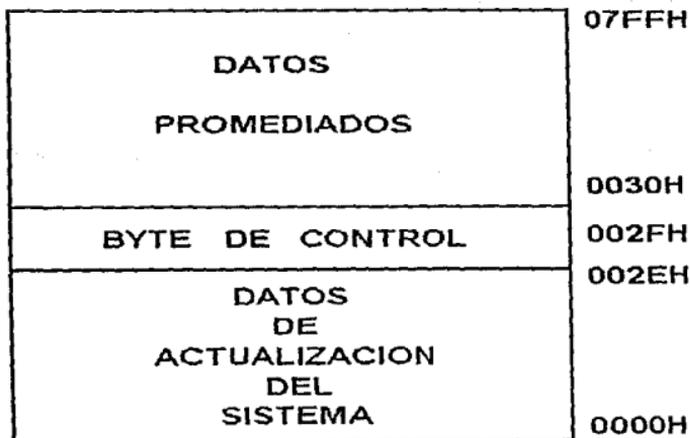
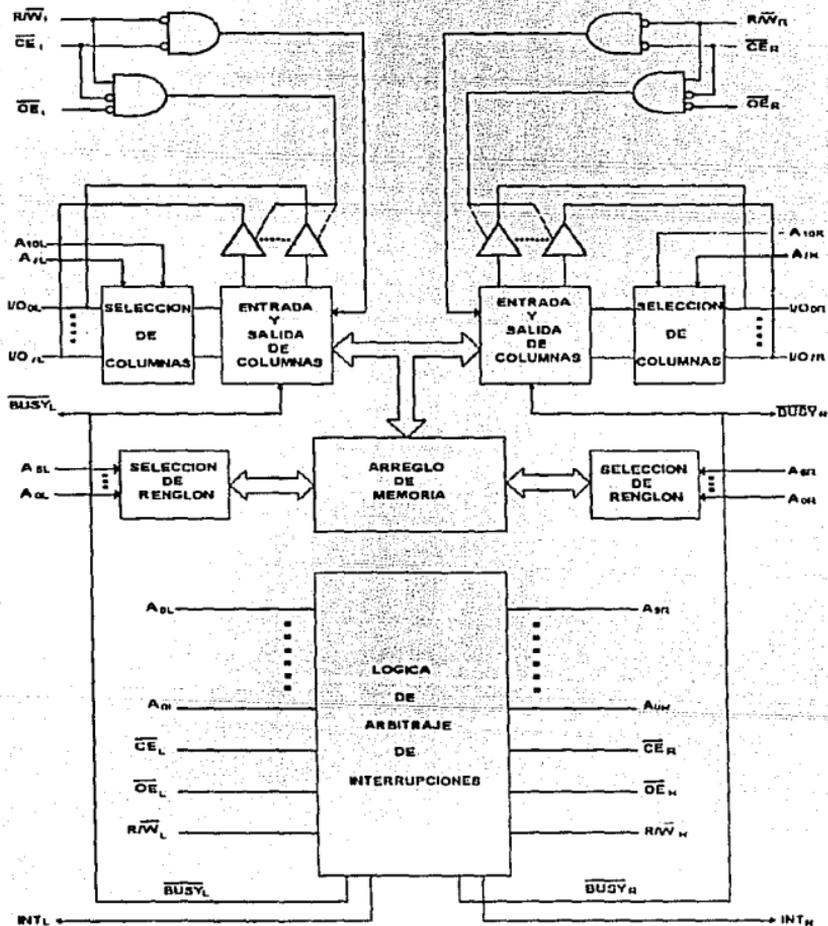


Figura IV-17 Mapa de la Memoria Doble Puerto.

**DISEÑO DEL SISTEMA**



**Figura IV-18** Diagrama de bloques de la Memoria Doble Puerto.

El comparador compara la dirección base (fijada con los DIPSWITCH) con las líneas de dirección AB19-AB12 del bus de la PC. Al verificar dicha configuración, se habilita un puerto de la memoria doble puerto. La literatura sugiere utilizar un espacio de la memoria de la PC a partir de la dirección D0000, ya que dicho espacio corresponde al área de memoria de expansión del bios, y generalmente no se utiliza.

Los mapas de memoria de una XT y una AT se muestran en las Figuras IV-19 y IV-20, respectivamente.

La parte baja del mapa de la memoria doble puerto se utiliza para la actualización del sistema. Se utilizan 2 bytes por canal para la identificación del mismo:

- 5 bits: Nombre de la variable.
- 3 bits: Unidades.
- 3 bits: Máxima escala.
- 2 bits: Voltaje a escala completa.

Además, en la parte baja del mapa de memoria el usuario escribe un mensaje cuando quiere habilitar alguna(s) salida(s) digital(es).

La parte alta del mapa de la memoria se utiliza para la transferencia de datos de la tarjeta hacia la PC.

El byte de control (2FH) tiene inicialmente el dato FFH. El sistema realiza un monitoreo periódico de este byte y cuando detecta un estado diferente de FFH, realiza la lectura de la parte baja de la memoria para actualizar al sistema, escribiendo al final el dato FFH en el byte de control. Por lo tanto, cuando se quiere realizar una actualización del sistema, se necesita escribir primero todas las modificaciones necesarias en las localidades bajas de la memoria y después modificar el valor del byte de control. La Figura IV-21 presenta el diagrama esquemático de la interfase.

El diagrama general del sistema se muestra en la página 133.

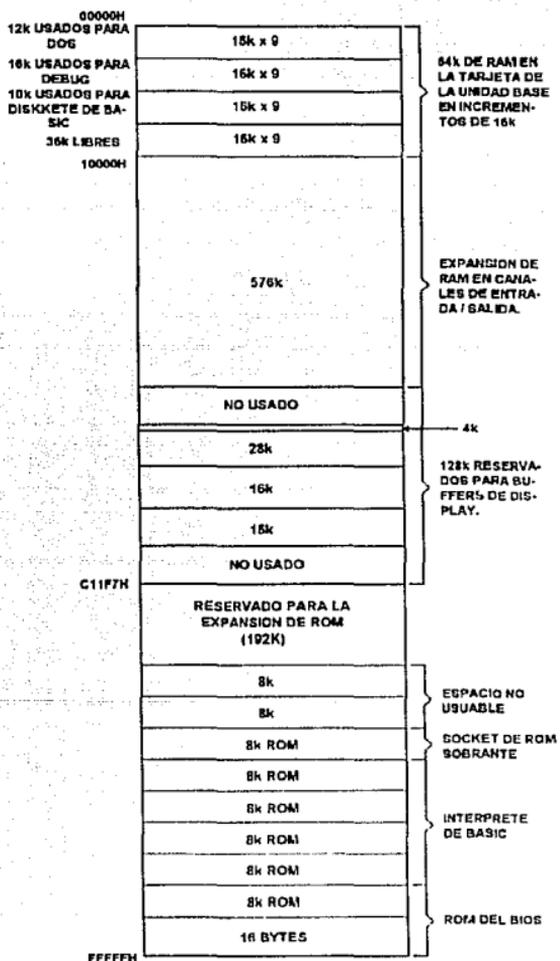


Figura IV-19 Mapa de Memoria de la XT.

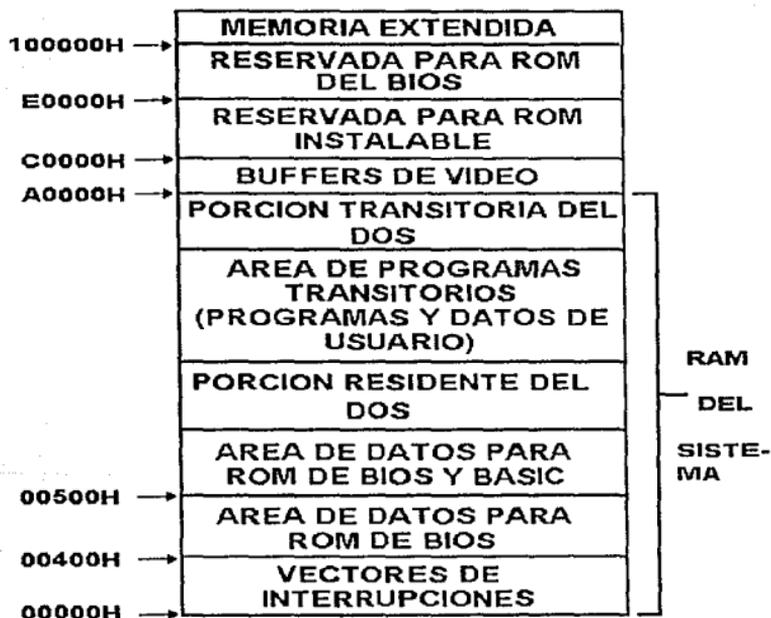


Figura IV-20 Mapa de Memoria de la AT.

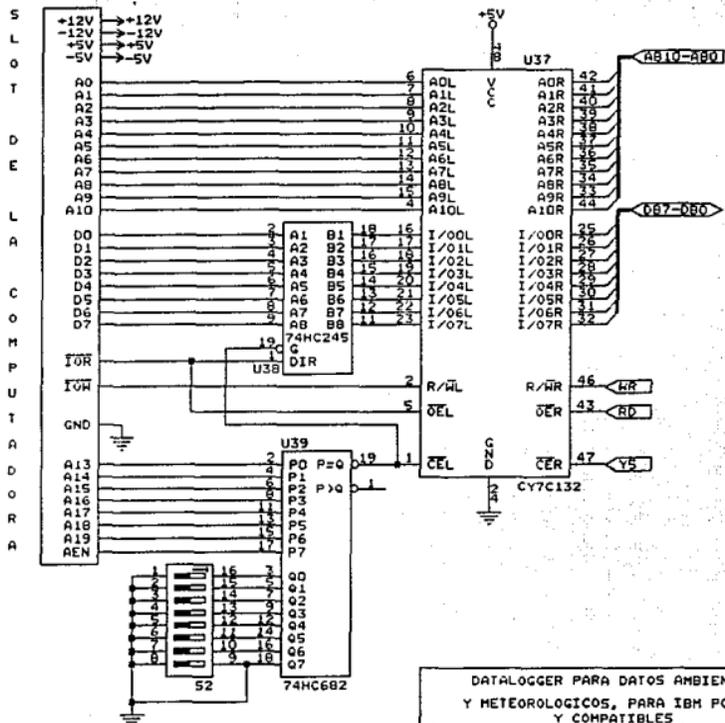


Figura IV-21 Interfase.

Title		
TESIS		
Size	Document Number	REV
A	INTERFASE	CDG
Date:	November 24, 1993	Sheet 1 of 1





**CONCLUSIONES  
Y  
COMENTARIOS**

### CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

En el presente trabajo se ha podido establecer una investigación sobre los parámetros que deben ser tomados en cuenta en el diseño de un proyecto de ingeniería en materia de contaminación del aire. En particular, el referente a los períodos de muestreo que establece la *US-EPA* y que hasta el momento de realizar el mismo no se encontraba un precedente formal. Con la información recabada, en su mayoría obtenida de las ediciones más recientes del CFR (*Code of Federal Regulations*), se estableció una plataforma teórica para desarrollos posteriores en la materia.

Se diseñó un datalogger para IBM PC y compatibles, el cual es inteligente, cuenta con memoria, reloj y procesamiento en tiempo real, dando como resultando un sistema casi autónomo. Esto tiene una gran ventaja sobre los sistemas actuales, ya que prácticamente no necesita que la PC se encargue de la adquisición de datos, además proporciona información de promedios en intervalos establecidos, con lo que la computadora puede ser utilizada para el análisis de la información y generación de reportes, sin interrumpir la tarea de la tarjeta.

El hecho de contar con una tarjeta de adquisición de datos en una de las ranuras de expansión de la PC, tiene como ventajas:

- La interacción del usuario con el sistema es a través de la PC, desde la cuál se programa y se configura el mismo.
- Se tiene un acceso fácil y rápido de la información, ya que se cuenta con una memoria doble puerto que queda en la misma localidad del mapa de memoria, tanto de la PC como de la tarjeta.

A diferencia de los sistemas comerciales de adquisición de datos (como el PCI 20 000 de Burr-Brown y tarjetas de Labtech en diferentes modelos), el presente diseño contempla la utilización de los elementos necesarios para el análisis de los datos obtenidos en el monitoreo de variables ambientales y meteorológicas, sin la necesidad de utilizar módulos que en un momento dado no sean utilizados a su total capacidad para el desempeño de su tarea.

La programación original contempla los períodos de muestreo establecidos por la *US-EPA*, sin embargo, el usuario tiene la libertad de cambiarlos, mediante la reprogramación del watchdog, para adecuarlos a sus necesidades, demostrando con ello la versatilidad del sistema para ser utilizado no solamente en el ámbito de contaminación atmosférica.

Con la utilización de la tecnología de memorias Flash, se contempla un almacenamiento de tipo permanente de los datos promediados cada hora por un intervalo de hasta 1 096 días con 6 horas, en una memoria de estado sólido de alta densidad, siempre y cuando se

utilicen las normas de la *US-EPA* para el monitoreo de las variables, lo que respalda la información aún con falla de potencia.

La utilización del microcontrolador 80C196KC de Intel, responde a la necesidad de cambiar a una familia más avanzada de microcontroladores recomendada por la propia compañía y que el departamento de Electrónica y Automatización del Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas de la UNAM, encuentra en este trabajo su primera aplicación, teniendo en cuenta que dicha entidad tiene amplia experiencia trabajando con los productos y soporte de dicha empresa, entre otras.

Se considera este trabajo como base para desarrollos posteriores, ya que el software de aplicación (que se pretende desarrollar como proyecto subsecuente agregándole diferentes rutinas de procesamiento), es independiente del mismo. Para trabajos futuros se pretende hacer al sistema autónomo, pero con la facilidad de interactuar con la computadora a través de puertos de comunicación, seriales y modem opcional, de manera que el sistema sea programado y configurado con el ordenador y después ser independiente, contando con una serie de comandos para el manejo de la información, a través de un puerto de comunicación y en forma remota.

## **APENDICE A**

# **CONVERSION ENTRE UNIDADES DE MASA Y PPM**

## CONVERSION ENTRE UNIDADES DE MASA Y PPM

La masa de un contaminante se expresa como microgramos de contaminante por metro cúbico de aire. Esto puede apreciarse en la siguiente fórmula :

$$\frac{\text{microgramos}}{\text{metro cúbico}} = \mu\text{g}/\text{m}^3$$

La relación existente entre los microgramos por metro cúbico y las partes por millón (ppm) están dadas por la siguiente ecuación:

$$\frac{m_{\text{cont}}}{V_{\text{aire}}} = \frac{\rho_{\text{cont}} V_{\text{cont}}}{V_{\text{aire}}} = \frac{P M_{\text{cont}}}{\rho_{\text{cont}} R_u T} = \frac{V_{\text{cont}} P M_{\text{cont}}}{V_{\text{aire}} R_u T}$$

donde se supone que el gas contaminante es un gas ideal ;  $M_{\text{cont}}$  es la masa molar del contaminante;  $T$  es la temperatura en  $^{\circ}\text{K}$ ;  $P$  es la presión en atmósferas y  $R_u$  es la constante universal de los gases con un valor de  $0.08208 \text{ [atm m}^3 / \text{kgmol } ^{\circ}\text{K]}$ , la ecuación puede escribirse entonces como :

$$\frac{m_{\text{cont}}}{V_{\text{aire}}} = \frac{V_{\text{cont}}}{V_{\text{aire}}} M_{\text{cont}} K$$

$$\text{Donde } K = \frac{P}{R_u T}$$

Por lo tanto, si se toma una presión de 1 atm y  $T$  como  $298 \text{ }^{\circ}\text{K}$  el valor de la constante  $K$  sería igual a  $\frac{1}{24.5}$ . Finalmente, al multiplicar el lado derecho por  $10^9$  para convertir la masa en microgramos, y al dividir por  $10^6$  de manera que se pueda expresar  $\frac{V_{\text{cont}}}{V_{\text{aire}}}$  como partes por millón, se obtiene la relación entre  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y ppm, a 1 atm y  $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$  en la siguiente forma :

$$\mu\text{g}/\text{m}^3 = \frac{\text{ppm} \times \text{peso molecular}}{24.5} (10^3)$$

por lo tanto:

$$\text{ppm} = \frac{(24.5) (\mu\text{g}/\text{m}^3)}{\text{Peso molecular}} (10^{-3})$$

## **APENDICE B**

# **PRINCIPIO Y APLICABILIDAD DE LOS METODOS DE REFERENCIA DE LA US-EPA**

## **B.1 METODOS DE REFERENCIA.**

En los métodos estándar para medición de la contaminación del aire ó de las emisiones puntuales de contaminantes, el método de medición se debe especificar. Un método específico estándar es denominado como método de referencia.

Existen también los métodos de equivalencia que pueden ser utilizados en redes atmosféricas de muestreo como complementarios.

Un método equivalente es definido como: el que proporciona resultados consistentes con los obtenidos por el método de referencia. La equivalencia se determina evaluando simultáneamente por el método de referencia a la metodología analítica ó instrumento que se trata de certificar. Los métodos de referencia y equivalentes pueden ser manuales ó automáticos.

**B.1-a Método de referencia para la determinación de bióxido de azufre en la atmósfera (Método de la pararonilina).**

### **a) Principio.**

Un volumen medido de aire es burbujeadó a través de una solución de 0.04 M de tetracloruro de potasio (TCM). El SO<sub>2</sub> presente en el flujo de aire reacciona con la solución TCM para formar un complejo estable de monoclóro-sulfito mercurato. Con ello se forma un complejo que es estable a los oxidantes fuertes (como son: ozono y óxidos de nitrógeno). Durante el análisis subsecuente, el complejo se hace reaccionar con ácido blanqueador de tintura de pararonilina y formaldehído para formar el ácido metilsulfónico de pararonilina de color rosa intenso. La densidad óptica de ésta especie es determinada espectrofotométricamente a 548 nm y está relacionada directamente con la cantidad de SO<sub>2</sub> colectada. El volumen total de aire muestreado, corregido para las condiciones de referencia de la US-EPA (25 °C, 760 mm de Hg [101 kPa]), es determinado de la taza de flujo medido y el tiempo de muestreo. La concentración de SO<sub>2</sub> en el aire ambiental es procesado y expresado en microgramos por metro cúbico estándar ( $\mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ std}$ ).

### **b) Aplicabilidad.**

Este método propociona una medición de la concentración de bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en el aire ambiental para determinar conforme a los estándares primario y secundario de calidad de aire ambiental nacional, para óxidos de azufre (bióxido de azufre) como se especifica en 50.4 y 50.5 de Título 40 CFR (código de regulaciones federales) parte 50 (7-1-1992),US-EPA.

El método es aplicable para la medición de concentraciones de SO<sub>2</sub> ambiental, usando el rango de período de muestreo de 30 minutos a 24 horas. Procedimientos de seguridad

de calidad adicional y gafa están localizados en la parte 58, Apéndices A y B del Título 40 CFR, US-EPA y referencias 1 y 2 del mismo.

**B.1-b Método de referencia para la determinación de Materia suspendida en partículas en la atmósfera (Método de altos volúmenes).**

**a) Principio**

Un muestreador de aire, localizado adecuadamente en el sitio de medición, retiene una cantidad medida de aire ambiente dentro de un bastidor cubierto a través de un filtro durante un período de 24 horas (nominal). La tasa de flujo del muestreador y la geometría del colector, favorecen la colección de partículas hasta 25-50  $\mu\text{m}$  (diámetro aerodinámico), dependiendo de la velocidad y dirección del viento. Los filtros usados están especificados para tener una eficiencia de colección mínima del 99% para partículas de 0.3  $\mu\text{m}$ .

El filtro es pesado (después del equilibrio de humedad) antes y después de usarlo para determinar la ganancia del peso neto (masa). El volumen total de aire muestreado, corregido para condiciones estándar de la US-EPA (25°C, 760 mm de Hg [101 kPa]), es determinado de la tasa de flujo medido y el tiempo de muestreo. La concentración de materia en partículas suspendidas totales en el aire ambiental, es procesada como la masa de partículas colectadas dividida por el volumen de aire muestreado, corregido a condiciones estándar, y expresado en microgramos por metro cúbico estándar ( $\mu\text{g}/\text{m}^3 \text{std}$ ). Para muestras colectadas a temperaturas y presiones significativamente diferentes de las condiciones estándar, estas concentraciones corregidas podrán diferir substancialmente de concentraciones reales (microgramos por metro cúbico real), particularmente a elevaciones altas. La concentración real de materia en partículas puede ser calculada de la concentración corregida usando la temperatura y presión real durante el período de muestreo.

**b) Aplicabilidad**

Este método proporciona una medición de la concentración de masa (materia) total suspendida en partículas (PST) en el aire ambiental, para determinar conforme a los estándares primario y secundario de la calidad del aire ambiental nacional para partículas de materia como se especifica en 50.6 y 50.7 del 40 CFR parte 50, US-EPA.

El proceso de medición es no destructivo, y el tamaño de la muestra colectada es usualmente adecuada para análisis químico subsecuente. Procedimientos de seguridad de calidad y gafa están localizados en la parte 58, Apéndices A y B del Título 40 CFR, US-EPA y referencias 1 y 2 del mismo.

**B.1-c Método de referencia para la determinación de Monóxido de carbono en la atmósfera (Fotometría de infrarrojo no dispersivo).**

**a) Principio y aplicabilidad.**

Las mediciones están basadas en la absorción de radiación infrarroja para monóxido de carbono (CO) en un fotómetro no dispersivo. La energía infrarroja de una fuente se hace pasar a través de una celda conteniendo la muestra de gas para ser analizada, la cantidad de energía absorbida por el CO en la celda es medida por un detector adecuado. El fotómetro es sensibilizado para CO, empleando gas de CO, ya sea en el detector o en una celda filtro en la trayectoria óptica, limitando de éste modo la absorción medida para una ó más de las longitudes de onda características en la cual el CO absorbe fuertemente. Pueden también ser usados filtros ópticos u otros medios para limitar la sensibilidad del fotómetro a una banda angosta de interés. Varios esquemas podrán ser usados para proporcionar una referencia cero adecuada para el fotómetro. La absorción medida es convertida a una señal eléctrica de salida, la cual está relacionada con la concentración de CO en la celda de medición.

Un analizador basado en este principio, será considerado como un método de referencia sólo si éste ha sido designado como un método de referencia conforme a la parte 53 del 40 CFR cap.I, US-EPA.

**B.1-d Método de referencia para la determinación de Ozono (O<sub>3</sub>) en la atmósfera.**

**a) Principio**

Aire ambiental y etileno son simultáneamente entregados ó deliberados a una zona de combinación ó mezcla, donde el ozono en el aire reacciona con etileno para emitir luz, la cual es detectada por un tubo fotomultiplicador. La fotocorriente resultante es amplificada y leída directamente ó desplegada en un registrador.

Un analizador basado en éste principio será considerado como un método de referencia sólo si éste ha sido designado como un método de referencia conforme a la parte 53 del 40 CFR Cap.I, US-EPA.

**b) Aplicabilidad**

El procedimiento, ensayo fotométrico de concentraciones de ozono es aplicable para la calibración de analizadores de O<sub>3</sub> del aire ambiental directamente o por medio de un estándar de transferencia certificado para este procedimiento. Los estándares de transferencia deben contener los requerimientos y el conjunto de especificaciones, los cuales se encuentran en la referencia 8 del 40 CFR Cap.I, US-EPA.

**B.1-e Método de referencia para la determinación de Hidrocarburos corregido para metano.**

**a) Principio y Aplicabilidad**

Volúmenes medidos de aire son entregados simultáneamente (4 a 12 veces por hora) a un detector de ionización por flama de hidrógeno, para medir su contenido total de hidrocarburo (THC). Una porción de la misma muestra de aire es introducida en una columna de separación, la cual remueve agua, bióxido de carbono y otros hidrocarburos más que metano. Metano y monóxido de carbono son pasados cuantitativamente a una columna cromatográfica de gas donde son separados. El metano es eludido primero y es pasado sin cambio alguno a través de un tubo de reducción catalítica dentro del detector de ionización por flama. El monóxido de carbono es eludido dentro del tubo de reducción catalítica, donde es reducido a metano antes de pasar a través del detector de ionización de flama. Entre cada análisis la columna de separación es nuevamente nivelada para prepararla para análisis subsecuentes. Concentraciones de hidrocarburo corregidas para metano son determinadas substrayendo el valor del metano del valor total de hidrocarburo.

Dos modos de operación son posibles:

1) Un análisis cromatográfico completo mostrando la salida continua del detector para cada inyección de muestra;

2) El sistema es programado para cero y espan automático para desplegar el ancho de banda seleccionado del cromatograma. La altura pico es entonces usada como la medida de la concentración. La operación del formulador es referida como el modo cromatográfico ó espectro y más adelante como el barográfico ó modo normal dependiendo en la marca del analizador.

El método es aplicable para la medición semicontinua de hidrocarburos corregido para metano en el aire ambiental. La medición de monóxido de carbono, la cual es simultáneamente obtenida en este método, no es requerido hacer mediciones de hidrocarburos corregido para metano.

**B.1-f Método de referencia para la determinación de Bióxido de Nitrógeno en la atmósfera (Quimoluminiscencia de fase gaseosa).**

**a) Principio y Aplicabilidad**

Las concentraciones atmosféricas de bióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) se determinan indirectamente, midiendo la intensidad de luz fotométricamente, a longitudes de onda mayores de 600 nanómetros, lo cual resulta en una reacción quimoluminiscente de óxido nítrico (NO) con ozono (O<sub>3</sub>). Primero se reduce cuantitativamente el NO<sub>2</sub> a NO por medio de un

convertidor. El NO, el cual comunmente existe en el aire ambiental junto con NO<sub>2</sub>, pasa a través del convertidor sin cambio alguno causando una concentración total de NO<sub>2</sub>, que es igual a NO + NO<sub>2</sub>. Una muestra del aire de entrada es también medida sin tener que pasar a través del convertidor. Esta medición de NO es más tarde substraída de la medición del formador (NO + NO<sub>2</sub>), para producir la medición de NO<sub>2</sub> final. Las mediciones de NO y NO + NO<sub>2</sub> podrán ser realizadas concurrentemente con sistemas dobles, ó cíclicamente con el mismo sistema con la condición de que el tiempo de ciclo no exceda 1 minuto.

**B.1-g Método de referencia para la determinación de Plomo en materia suspendida en partículas colectadas del aire ambiental.**

a) Principio y aplicabilidad

La materia en partículas suspendidas en el aire ambiental, se colectada en un filtro de fibra de vidrio durante un período de 24 horas usando un muestreador de aire de alto volumen. El análisis de las muestras de 24 horas podrán ser presentadas por muestras individuales o compuestas de las obtenidas al cabo de una quincena o bien un mes, con la condición de que el procedimiento de composición ha sido aprobado en acuerdo con la sección 2.8 del Apéndice C para la parte 58 del cap.I Título 40 CFR, US-EPA.

El plomo en las muestras de partículas suspendidas, se solubiliza por extracción con ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>), ya sea por calor ó por una mezcla de HNO<sub>3</sub> y ácido clorhídrico (HCl) o bien con ultrasonido. El contenido de plomo de la muestra se analiza por espectrometría de absorción atómica usando una flama de aire-acetileno, en donde, la línea de absorción del plomo de 283.3 o 217.0 nm y las condiciones del instrumental óptimas recomendadas por el fabricante.

**B.1-h Método de referencia para la determinación de materia en partículas como PM10 en la atmósfera.**

a) Principio.

Un muestreador de aire almacena aire ambiente en un recipiente de figura especial a una velocidad de flujo constante, en donde la materia en partículas suspendidas es inercialmente separada en uno o más tamaños diferentes en el rango de las PM10. Cada fracción de medida en el rango del tamaño de las PM10, es colectada en un filtro separador con un período de muestreo especificado. Las características de discriminación del tamaño de las partículas (efectividad del muestreo y 50 por ciento del punto de corte) del recipiente del muestreador son prescritas como especificaciones de presentación en la parte 53 del Cap.I Título 40 CFR, US-EPA.

**b)Aplicabilidad**

Este método proporciona la medición de la concentración de masa en partículas de materia en el aire ambiente con un diámetro aerodinámico menor o igual a 10 micrómetros (PM10), con un período de muestreo de 24 horas para el propósito de lograr el mantenimiento de los estándares primario y secundario de la calidad del aire ambiente nacional para materia en partículas, especificados en la parte 50.6 del Cap.I Título 40 CFR, US-EPA.

El proceso de medición es del tipo no destructivo, con lo cual la muestra de PM10 puede estar sujeta a análisis físico o químico subsecuente.

## **APENDICE C**

# **ALGORITMO PARA EL CALCULO DE LA DESVIACION ESTANDAR DE LA DIRECCION HORIZONTAL DEL VIENTO**

## ALGORITMO PARA EL CALCULO DE LA DESVIACION ESTANDAR DE LA DIRECCION HORIZONTAL DEL VIENTO.

---

El siguiente algoritmo es un método para el cálculo de la desviación estándar de las fluctuaciones horizontales de la dirección del viento  $\sigma(\theta)$ , por medio de las componentes (senos y cosenos) de los ángulos de dirección.

La ventaja del método es que puede ser realizado en un sistema de procesamiento (Microprocesador o Microcontrolador) de bajo costo, el cual con una cierta interfase pueda ser conectado a un transductor correspondiente (aspa de viento o veléta) y registrar las muestras pertinentes; posteriormente en un determinado período de tiempo, tales muestras requerirán ser procesadas por el sistema y cuando el usuario requiera dicha información, ésta le sea mostrada por algún medio.

La desviación estándar puede ser obtenida de dos formas posibles:

- 1) Usando cada muestra tomada durante el período de salida establecido.
- 2) Por medio del promedio de desviaciones estándar de sub-intervalos más cortos del período de salida establecido.

La segunda forma, minimiza los efectos de serpeo o variación bajo condiciones de viento ligero, éste también propociona una información más completa y fidedigna para períodos de transición.

La desviación estándar de las fluctuaciones horizontales del viento de sub-intervalos es calculada como sigue:

$$\sigma(\theta)_T = [(\sigma_{\theta 1})^2 + (\sigma_{\theta 2})^2 + \dots + (\sigma_{\theta N})^2 / N]^{1/2}$$

donde;

$\sigma_{\theta 1} \dots \sigma_{\theta N}$ , son las desviaciones estándar de los sub-intervalos definidos inicialmente.

Un sub-intervalo está especificado como un número de muestras.

El número de muestras de un sub-intervalo está dado por:

$$\frac{\text{Sub-intervalo deseado (seg)}}{\text{Tasa de muestreo (seg)}}$$

Descripción del algoritmo:

---

\* EPA On-site Meteorological Program Guidance for Regulatory Modeling Applications.

**ALGORITMO PARA EL CALCULO DE LA DESVIACION ESTANDAR DE LA DIRECCION HORIZONTAL DEL VIENTO.**

---

A continuación se definen los parámetros a emplear.

$S_i$  = Velocidad horizontal del viento.

$\theta_i$  = Dirección horizontal del viento.

$U_{ei}$  = Componente Este-Oeste del viento.

$U_{ni}$  = Componente Norte-Sur del viento.

Se obtiene el valor de la media escalar de la velocidad horizontal del viento, ( $S$ ), como:

$$S = (\sum S_i)/N$$

donde, en el caso de sensores ortogonales:

$$S_i = [(U_{ei}^2 + U_{ni}^2)]^{1/2}$$

posteriormente se obtiene el vector unitario de la media de la dirección del viento, ( $\theta_1$ ) como:

$$\theta_1 = \tan^{-1}(U_x/U_y)$$

donde:

$$U_x = (\sum \text{sen } \theta_i)/N$$

$$U_y = (\sum \text{cos } \theta_i)/N$$

o bien el caso de sensores ortogonales:

$$U_x = (\sum (U_{ei} / U_i))/N$$

$$U_y = (\sum (U_{ni} / U_i))/N$$

donde;

$$U_i = [U_{ei}^2 + U_{ni}^2]^{1/2}$$

La desviación estándar de la dirección del viento,  $\sigma(\theta_1)$ , empleando el algoritmo YAMARTINO es:

$$\sigma(\theta_1) = \text{sen}^{-1}(\epsilon) [1 + 0.1547 \epsilon^3]$$

donde;

$$\epsilon = [1 - (U_x)^2 + (U_y)^2]^{1/2}$$

$U_x$  y  $U_y$  son las variables antes definidas.

Posteriormente se puede llegar a calcular la media de la resultante de la velocidad horizontal del viento ( $U$ ), como sigue:

$$U = [(U_e^2 + U_n^2)]^{1/2}$$

donde, para sensores del tipo polar:

$$U_e = (\sum S_i \text{sen } \theta_i) / N$$

$$U_n = (\sum S_i \text{cos } \theta_i) / N$$

o bien en el caso de sensores del tipo ortogonal:

$$U_e = (\sum U_i / U_{e_i}) / N$$

$$U_n = (\sum U_i / U_{n_i}) / N$$

otro dato importante es obtener la media de la resultante de la dirección del viento, ( $\theta_u$ ):

$$\theta_u = \tan^{-1}(U_e / U_n)$$

por último se puede calcular la desviación estándar de la dirección del viento,  $\sigma(\theta_u)$ , empleando el algoritmo Científico Campbell, como se indica:

$$\sigma(\theta_u) = 81 (1 - U/S)^{1/2}$$

## BIBLIOGRAFIA

**BIBLIOGRAFIA**

- 1.- Bravo Alvarez H., LA CONTAMINACION DEL AIRE EN MEXICO, Universo Veintiuno, México 1987.
- 2.- BURR-BROWN. INTEGRATED CIRCUITS DATA BOOK, 1986.
- 3.- CODE OF FEDERAL REGULATIONS. 40 @50, 1992.
- 4.- CODE OF FEDERAL REGULATIONS. 40 @50, 1990.
- 5.- CYPRESS Semiconductor. CMOS BiCMOS DATA BOOK, 1989.
- 6.- DALLAS Semiconductor. DATA BOOK, 1989.
- 7.- Diario Oficial de la Federación. 29 de Noviembre de 1982, 2a sección, pags. 81-82.
- 8.- EPA/ 625/ 6-79/ 005. CONTINUOUS AIR POLLUTION SOURCE MONITORING SYSTEMS, 1979.
- 9.- Harris Eugene K., McCormick Robert A., A SIMPLE PROCEDURE FOR ESTIMATING THE STANDARD DEVIATION OF WIND FLUCTUATIONS Journal of Applied Meteorology. Abril 15, 1963, vol. 2.
- 10.- HARRIS Semiconductor. DATA BOOK, 1990.
- 11.- Howard W., Roger C. Alford. PROGRAMMABLE LOGIC DESIGNER'S GUIDE, SAMS Company, 1989.
- 12.- INTEL 16 BIT EMBEDDED CONTROLLERS, 1990.
- 13.- INTEL MEMORY PRODUCTS, 1993.
- 14.- INTERSIL APPLICATIONS HANDBOOK.
- 15.- LATTICE. GAL DATA BOOK, 1989.
- 16.- Lewis C. Eggebrecht., INTERFACING TO THE IBM PERSONAL COMPUTER SAMS, 1990.
- 17.- Moore Steve., DESIGNING WITH ANALOG SWITCHES, Marcel Dekker, Inc., 1991.

- 18.- MOTOROLA. CMOS LOGIC DATA, 1988.
- 19.- Quadri De la Torre G., Sánchez Cataño L., LA CIUDAD DE MEXICO Y LA CONTAMINACION ATMOSFERICA, Limusa, México 1992.
- 20.- Riveros Rotge Héctor., LA CONTAMINACION ATMOSFERICA EN LA CIUDAD DE MEXICO, Publicaciones Técnicas No. 1, Instituto de Física UNAM.
- 21.- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. COMPENDIO DE APUNTES PARA LA FORMACION DEL PERSONAL METEOROLOGICO CLASE IV, Vol. 2 Climatología, México, 1979.
- 22.- Stern A. C., Wohlers H.C., FUNDAMENTALS OF AIR POLLUTION, Academic Press, USA 1973.
- 23.- Suárez Bengua Guillermo. ANALISIS DE LA CALIDAD ATMOSFERICA EN LA CIUDAD DE MEXICO, Información Científica y tecnológica, CONACYT, Vol. 13 No. 173, México, Febrero 1991.
- 24.- Taub Herbert, Donald Schilling. DIGITAL INTEGRATED CIRCUITS McGraw-Hill Internacional, 1989.
- 25.- TEXAS Instruments. HIGH-SPEED CMOS LOGIC DATA BOOK, 1989.
- 26.- TOSHIBA America Electronic Components, Inc., STATIC RAM, 1990.
- 27.- Varios autores. INTERCONEXION DE PERIFERICOS A MICROPROCESADORES, Publicaciones Marcenbo, 1984.
- 28.- Wark Kenneth, Warner Cecil F., CONTAMINACION DEL AIRE ORIGEN Y CONTROL, Limusa Noriega. México, 1990.