



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN ANALIZADOR DE EMISION
DE GASES CONTAMINANTES DE MOTORES DE
COMBUSTION A GASOLINA.

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
(AREA ELECTRICA Y ELECTRONICA)
PRESENTA:

JOSE RODELMAR OCAMPO SANTILLAN

DIRECTOR DE TESIS
M. I. JORGE RODRIGUEZ CUEVAS

CIUDAD UNIVERSITARIA, MEXICO D.F. 1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta 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.

AGRADECIMIENTOS

Deseo dedicar este trabajo a las personas que me enseñaron a ser un hombre de bien con su ejemplo, dedicación, comprensión y apoyo incondicional en todo momento Mamá, Papá y mis hermanos Chuy, Beto, Lorenzo, Adán y Chava.

Agradezco a los profesores de la Facultad de Ingeniería de la UNAM por los conocimientos y experiencias que me han transmitido, en especial al M.I. Jorge Rodríguez Cuevas por su dedicación durante mi desempeño académico, a la empresa Teledyne Analytical Instruments, Inc. por su aportación material y científica para el desarrollo del presente trabajo y a todos mis amigos y compañeros que me apoyaron en mi vida de estudiante, a todos ustedes gracias.

J. Rodolmar

INDICE TEMATICO

INTRODUCCION	I-1
CAPITULO I Consideraciones de diseño y conceptos básicos de la combustión de motores a gasolina.	1-1
CAPITULO II Métodos para la medición de concentración de gases contaminantes.	2-1
CAPITULO III Selección de los transductores a utilizar y diseño de los acondicionadores de señal.	3-1
CAPITULO IV Diseño de la arquitectura del sistema para el registro y despliegue de la información.	4-1
CAPITULO V Construcción y resultados	5-1
CONCLUSIONES	C-1
BIBLIOGRAFIA	B-1
APENDICE A Diagramas electrónicos	62
APENDICE B Programa del microcontrolador	65

INTRODUCCION

Dentro del marco ecológico, una de las problemáticas de mayor importancia para la Ciudad de México es el alto índice de contaminantes producidos por la combustión del petróleo y sus derivados, dentro de los cuales se encuentran las gasolinas.

Uno de los mayores agentes contaminantes son los motores de combustión a gasolina utilizados en los automóviles; esto se debe, entre otras causas, a su gran utilización, a la mala calidad del combustible (gasolina) y a las fallas en el proceso de la combustión en los vehículos automotores.

La primer causa es difícil de frenar, debido a la gran demanda de vehículos automotores resultado del incremento demográfico que ha vivido la Ciudad de México.

La segunda causa es factible de eliminar, mejorando la tecnología en el proceso de refinación de los hidrocarburos y aumentando el índice de octanaje de las gasolinas.

Para la tercer causa existen principalmente tres fuentes; la primera consiste en la evaporación de la gasolina durante el llenado y almacenamiento de la misma, la segunda al igual que la anterior produce contaminantes volátiles como resultado propio de la combustión dentro de la cámara. Estas dos producen bajos porcentajes de gases contaminantes, además de controlarse por medio de un sellado adecuado tanto en el tanque de almacenamiento, como en el motor. La tercera y más contaminante corresponde a la emisión de gases emitidos por el escape del motor.

Para controlar la contaminación se han realizado acciones por parte del Departamento del Distrito Federal al respecto, como la implementación de catalizadores en el escape, no usar un día o más a la semana el automóvil y realizar verificaciones automotrices cada seis meses para certificar que no se excedan los índices contaminantes en cada automóvil.

En este sentido, surge la inquietud de realizar un analizador de emisión de gases contaminantes de motores de combustión a gasolina, de fácil manejo para el usuario, que le permita un continuo análisis de la emisión de los gases contaminantes, para evitar una exhaustiva contaminación por parte de los automóviles, como apoyo a la reducción del Índice Metropolitano de Emisión de Contaminantes Ambientales, al tiempo de mantenerlos en condiciones óptimas.

Dentro del mercado de los analizadores de gases contaminantes existe muy poca variedad de éstos, teniendo un costo de alrededor de 7,700.00 USD para los portátiles, y de 20,000.00 USD para los que poseen una computadora personal.

Cabe mencionar que en general todos los analizadores de gases en México son de procedencia extranjera, con lo cual se muestra la dependencia tecnológica. Teniendo como consecuencia la ausencia de refacciones y reparaciones parciales, ya que actualmente sólo se ensamblan este tipo de instrumentos de medición, lo cual propicia un conocimiento del instrumento como módulos o cajas negras, sin tener un amplio conocimiento tecnológico en el funcionamiento y desarrollo de la instrumentación de gases.

En consecuencia se creyó necesario el desarrollo de un analizador de gases para vehículos automotores, con lo cual obtendremos mayor desarrollo tecnológico, conocimiento en el proceso de mantenimiento y un ahorro de recursos económicos.

Para lo cual se desarrollará el presente trabajo de la siguiente manera:

En el capítulo I se explicarán los conceptos básicos de la combustión de motores a gasolina y los lineamientos normativos para los analizadores de gases en México.

Dentro de los capítulos II y III se analizarán los principales métodos de análisis y algunos sensores para gases de combustión a gasolina respectivamente, eligiendo el más adecuado de cada uno. En el capítulo III, se desarrollará la etapa de acondicionamiento de

señal, para su posterior procesamiento digital, el cual será efectuado por una arquitectura con base en un microcontrolador, analizado y seleccionado junto con el procesamiento digital en el capítulo IV y para finalizar el diseño del analizador de gases contaminantes, se mostrará la etapa de registro y despliegue de la información dentro del capítulo IV.

Para la certificación del diseño se construirá el mismo y se realizarán pruebas, las cuales serán analizadas dentro del capítulo V, para así finalizar con las conclusiones del trabajo.

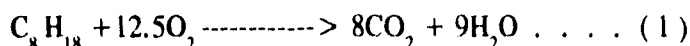
CAPITULO I

CONSIDERACIONES DE DISEÑO Y CONCEPTOS BASICOS DE LA COMBUSTION DE MOTORES A GASOLINA.

Para poder diseñar un analizador de gases contaminantes es necesario conocer y entender el proceso y factores que influyen en la combustión de motores a gasolina, así como las características importantes de los gases generados de la misma, para de esta forma facilitar la instrumentación electrónica.

Asimismo cumplir con los lineamientos preestablecidos para el diseño de un analizador de gases contaminantes. En este capítulo se mencionan los conceptos necesarios y consideraciones de diseño para la realización de un analizador de gases contaminantes emitidos por motores de combustión interna a gasolina.

Combustión.- Todos los hidrocarburos son combustibles y arden en el aire o en oxígeno para formar dióxido de carbono y agua. Por ejemplo, una reacción ideal como se muestra en la ecuación (1), donde una molécula de hidrocarburo (octano) reacciona con 12.5 moléculas biatómicas de oxígeno (O_2), para generar dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O).



La combustión de hidrocarburos en un motor de gasolina no es tan completa como lo indica la ecuación (1). Debido a esta característica, algo de monóxido de carbono, carbono e incluso algunos hidrocarburos, pueden formar una apreciable fracción de los productos de la combustión, dependiendo de la forma en que ésta se lleve a cabo.

La combustión ideal, se produciría bajo ciertas condiciones:

1. El aire y el combustible deben estar perfectamente mezclados,
2. la combustión debe ser suficientemente lenta y fría, para que el nitrógeno no reaccione con el oxígeno.

Los hidrocarburos de la gasolina tienen puntos de ebullición suficientemente bajos como para que la gasolina se transforme en vapor en el motor. En la operación de un motor de gasolina, la carrera descendente del pistón introduce una mezcla de vapor de gasolina y aire en el cilindro, esta mezcla se comprime a un volumen pequeño en la parte superior del cilindro por la acción de la carrera ascendente del pistón. Cuando el pistón se aproxima al final de su carrera ascendente, un sistema de regulación de la ignición produce una chispa por medio de una bujía que incendia la gasolina, los gases calientes en expansión empujan el pistón hacia abajo, haciendo girar el cigueñal.

Para que el motor funcione uniformemente, la combustión debe iniciarse en el instante apropiado en la zona de la bujía, y debe desplazarse a través de la mezcla gaseosa a una velocidad rápida pero uniforme. Para gasolina directa, la velocidad de combustión tiende a ser uniforme hasta que probablemente se han consumido tres cuartos de la gasolina; la velocidad se acelera entonces repentinamente hasta ser el cuádruplo de la original. Esto causa golpeteo, disminuyendo potencia y aumenta el desgaste de la máquina.

Llenado del cilindro: la fuerza de impulsión es un tanto mayor cuanto mayor es la cantidad de mezcla combustible-aire disponible en el cilindro para la combustión.

Entran al cilindro:

aire : 78% Nitrógeno, 21% Oxígeno
combustible: 99% Hidrocarburos

Salen del cilindro: gases de escape:

71.0%	Nitrógeno
0.7%	Oxígeno y gases inertes
18.1%	Dióxido de carbono
9.2%	Agua
1.0%	Gases contaminantes
0.005%	Partículas

Mezcla aire-combustible ideal o estequiométrica: para la reacción completa de los hidrocarburos de la gasolina, es decir, sin dejar restos ni de hidrocarburos ni de oxígeno, se requiere 14.7 lb (Kg) de aire para 1 lb (Kg) de combustible. El valor de esta relación de mezcla varía un poco según el tipo de combustible.

Mezcla aire-combustible real: la relación requerida por el motor para sus diferentes regímenes de funcionamiento puede variar entre 3:1 (arranque en frío) y 16:1 (mediana velocidad de cruce).

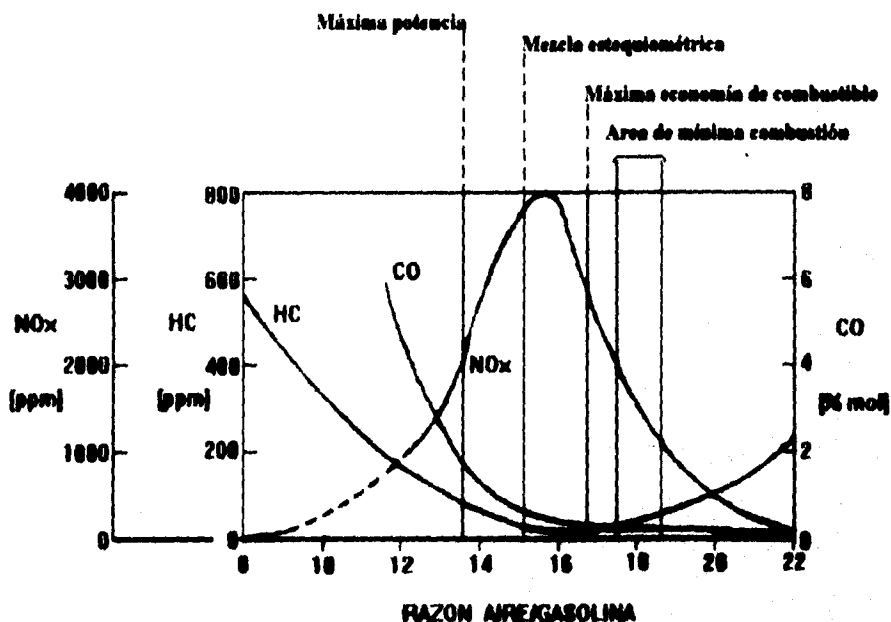


FIGURA 1.1 Gráfica concentración de HC, CO y NOx en función de la razón aire/gasolina

Índice de aire (λ): es el cociente de la cantidad de aire admitida (real) y la cantidad requerida para la combustión completa de los hidrocarburos (ideal o estequiométrica).

$\Lambda = 1.0$ mezcla estequiométrica; indispensable para el funcionamiento correcto del catalizador de tres vías.

$\Lambda = 0.9$ mezcla "rica" de combustible; con ella el motor desarrolla el máximo de su potencia.

$\Lambda = 1.1$ mezcla "pobre" de combustible; con ella el motor tiene su mejor rendimiento.

Algunas mezclas requeridas por el motor:

arranque en frío	Λ entre 0.2 y 0.4
aceleración y plena carga	Λ 0.9
carga parcial	Λ 1.1
Ralenti	Λ entre 0.9 y 1.05

Formación de sustancias contaminantes:

Debido a las diversas condiciones que influyen en el proceso real de la combustión en el motor, se generan sustancias tóxicas y agresivas en mayor o menor cantidad.

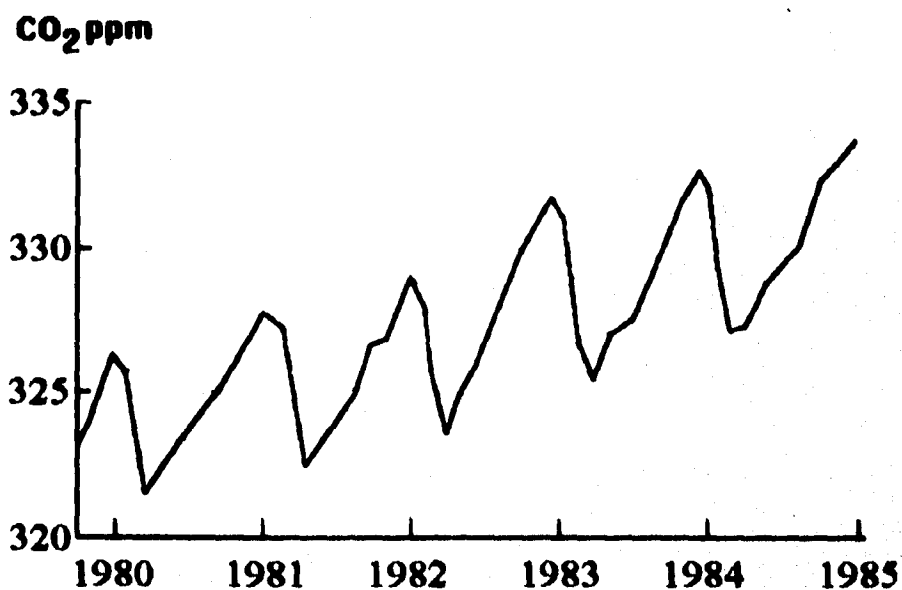


FIGURA 1.2 Mediciones de CO₂ en la atmósfera. Las oscilaciones deben a la eliminación de CO₂ por la fotosíntesis durante el cultivo y la liberación durante el otoño y el invierno.

Las enormes cantidades de dióxido de carbono, CO_2 , producidas por las actividades humanas (2×10^9 toneladas anuales por consumo de combustible) son suficientes para desplazar los equilibrios involucrados en los procesos naturales que mantienen un balance aproximado entre la Tierra y su atmósfera. En la figura 1.2 se muestra el aumento gradual de la cantidad de CO_2 en la atmósfera en los últimos años. Este aumento nos puede amenazar con un efecto de invernadero, pues las moléculas de CO_2 pueden absorber la radiación infrarroja de la superficie terrestre, que de otra manera saldría al espacio sideral. Se teme que la atmósfera resulte tan caliente que se presenten modificaciones climatológicas serias.

Los hidrocarburos se forman cuando no hay combustión o la combustión es incompleta. Son restos del combustible no quemado y/o parcialmente quemado. La emisión de hidrocarburos se debe a tres causas principales:

1. La llama se apaga cerca de las paredes del cilindro relativamente frías y una parte de los hidrocarburos no participa en la combustión.
2. Cuando la mezcla es demasiado rica de combustible no todos los hidrocarburos encuentran oxígeno para ser quemados.
3. Cuando, por diversas causas, la mezcla no se enciende.

Partículas de carbono: los hidrocarburos se descomponen durante la combustión en hidrógeno y carbono. El hidrógeno tiene mucho más capacidad de reacción con el oxígeno que el carbono. Cuando las partículas de carbono no encuentran oxígeno no logran quemarse.

Monóxido de carbono: esta emisión se forma cuando no hay suficiente cantidad de aire para quemar el combustible. Con una mezcla rica en combustible aumenta sensiblemente la emisión de CO, siendo ésta la única razón para la formación de CO.

Esta sustancia tóxica es sumamente peligrosa, pues se combina fácilmente con la hemoglobina de la sangre e impide la transportación de oxígeno de los pulmones a los tejidos.

Se estima que por año un automóvil emite 1450 Kg de CO

Otras sustancias contaminantes:

Plomo: con el aditivo tetraetilo de plomo se le da a la gasolina mayor resistencia contra el cascabeleo. El 75% del plomo obtenido en la combustión sale como partículas con los gases de escape. En vehículos con convertidores catalíticos

el plomo contamina el catalizador lo cual reduce primero y después imposibilita el efecto catalítico. El 25% del plomo están absorbidos por el lubricante del motor. Las gasolinas producidas a partir de alcanos con métodos químicos de aromatización están constituidas en su mayor parte de hidrocarburos de cadena ramificada o aromáticos. Son gasolinas de alto octanaje. Al mezclarlas con gasolinas directas se logran tener combustibles sin plomo con octanajes desde 84 hasta 90 y más.

Bióxido de azufre: proviene de la quema de combustibles que contienen azufre, la gasolina prácticamente no contiene azufre.

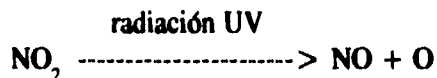
Reacciones secundarias de los contaminantes de la atmósfera:

Los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno reaccionan en la atmósfera en la presencia de la luz solar con el oxígeno y forman otras sustancias todavía más agresivas; entre ellos el más importante es el ozono (O_3), que a continuación se describe su reacción:

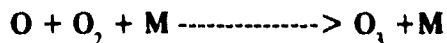
En la cámara de combustión



el óxido de nitrógeno (NO) se oxida fácilmente en el ambiente para formar bióxido de nitrógeno (NO_2)



el oxígeno obtenido es muy reactivo y se combina con oxígeno del aire



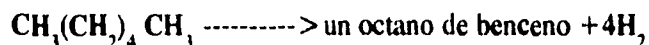
en donde M es cualquier elemento que absorbe la energía provocada de la unión de los oxígenos.

Otra razón de peso en la generación de sustancias contaminantes es el tipo de gasolinas procesadas para los motores, las cuales deberán tener un alto índice de octanaje, así como una cantidad nula de plomo. Tales como las gasolinas generadas a partir de alcanos, como ya se mencionó.

Aromatización: Cuando los alcanos y los cicloalcanos se calientan a temperaturas elevadas ($500^\circ C$ aproximadamente) y altas presiones (300-700

lb/plg²), se puede desprender hidrógeno y se llegan a formar compuestos del tipo del benceno. A este tipo de cambio químico se llama aromatización. Los hidrocarburos hexano, ciclohexano y metilciclopentano reaccionan para producir benceno.

Considerando como hidrocarburo al hexano para la aromatización, se obtiene un octano de benceno y cuatro moléculas de hidrógeno H₂. La reacción química se representa en la siguiente ecuación:



Catalizador: Muchas reacciones del oxígeno se verifican con más facilidad cuando está presente un catalizador. Algunos catalizadores causan una oxidación prácticamente completa del monóxido de carbono a dióxido de carbono. Después del catalizador cambia el CO de 10000 ppm a 1000 ppm. En Japón y EUA a partir de 1975 se emplea el catalizador en vehículos automotores.

Octanaje: Es un índice para la resistencia que muestra una gasolina contra el cascabeleo cuando está sometida a la combustión. Cascabeleo es un ruido en el motor originado por altos picos de presión que ocurren en consecuencia del autoencendido de partes de la mezcla al finalizar la combustión. Si es prolongado destruye al motor. En la altura, los motores requieren menos octanaje para no mostrar cascabeleo.

Para medir las propiedades de golpeteo de la gasolina, se seleccionaron dos hidrocarburos puros como patrones de comparación. Uno de ellos, el heptano, es del tipo sin ramificar; el otro el 2,2,4-trimetilpentano (isooctano), es ramificado.

A estos hidrocarburos se les asignaron índices de octano de cero y cien, respectivamente. Cuando se está clasificando una gasolina, en un motor de prueba se ensayan diversas muestras de los dos hidrocarburos patrón, hasta determinar cual es el mismo golpeteo que la gasolina está provocando. El porcentaje de isooctano en la muestra tipo se toma entonces como el índice de octano de dicha gasolina.

Los gases emitidos por los motores a gasolina más importantes para ser analizados y monitoreados son el CO₂, CO y HC, debido a que se generan en mayor cantidad y tiene efectos más dañinos sobre el medio ambiente, por lo que en los capítulos subsecuentes nos enfocaremos al estudio de éstos.

ASPECTOS A CONSIDERARSE PARA EL DISEÑO DE UN ANALIZADOR DE GASES CONTAMINANTES PROPUESTOS POR LA SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGIA.

La aprobación de un instrumento de medición de concentración de CO_2 , CO y HC depende del cumplimiento de las siguientes normas:

1.- El método para medir las emisiones de los gases de hidrocarburos y monóxido de carbono a la salida del escape de los vehículos automotores en circulación, que utilizan gasolina como combustible, será el de prueba estática, consistente en marcha lenta al vacío y marcha crucero.

Marcha lenta en vacío: son las condiciones de prueba de un vehículo encendido sin aceleración.

Marcha crucero: son las condiciones de prueba representativas de la operación del vehículo en circulación. Las mediciones por marcha crucero se realizarán a 2500 ± 50 rpm con aceleración.

2.- Para la calibración del equipo se usarán gases patrón

3.- Temperatura normal de operación: aquella alcanzada en el motor y en el tren de fuerza del vehículo, después de operar un mínimo de 10 minutos o bien alcanzar 60°C en el aceite del motor.

4.- El equipo para medir las emisiones deberá contar con aditamentos internos que eliminen partículas y agua.

5.- Los aditamentos externos consistirán en una sonda cuya longitud no deberá ser menor de tres metros, ni mayor de nueve metros, suficientemente flexible.

6.- El analizador deberá tener una escala total de 0 a 10 % en volumen, para el caso del monóxido de carbono y de 0 a 2000 ppm, tratándose de hidrocarburos y deberá:

- a) tener una precisión de 3%
- b) estabilidad no mayor de 3% y
- c) una repetitividad de 2%, durante 5 mediciones sucesivas en una misma fuente.

7.- El procedimiento para determinar la concentración de monóxido de carbono en el aire, se basa en la medición de la absorción de radiación infrarroja por el monóxido de carbono, utilizando un fotómetro no disperso.

La espectrometría de correlación de filtro de gas es un método equivalente.

AÑO-MODELO DEL VEHICULO	NIVELES MAXIMOS PERMISIBLE DE EMISION [g/Km]		
	HC	CO	NOx
1989	2.00	22.00	2.30
1990	1.80	18.00	2.00
1991-92	1.70	7.00	1.40
93-Adelante	0.25	2.11	0.62

CAPITULO II

METODOS PARA LA MEDICION DE CONCENTRACION DE GASES CONTAMINANTES.

Para la medición de concentración de gases contaminantes existen diversos métodos, dentro de esta variedad analizaremos aquellos que sean aplicables para el diseño de un instrumento de medición de concentración de monóxido de carbono, dióxido de carbono, e hidrocarburos. Seleccionando el método más apropiado, para dicha aplicación, de los que a continuación se enuncian:

- a) cromatografía de gases
- b) espectrometría de masas
- c) espectrometría de emisión de flama y absorción atómica
- d) espectrometría infrarroja

A) CROMATOGRAFIA DE GASES: Una técnica para medir productos generados por la combustión es la cromatografía de gases, indicada en el diagrama de la figura 2.1. El gas de muestra se colecta típicamente en una pequeña jeringa de vidrio y se introduce en la columna cromatográfica. La columna puede variar de longitud desde 1 a 20

centímetros y en diámetro desde 0.25 a 50 milímetros. En el interior de la columna contiene un adsorbente sólido o líquido para retardar el flujo de los diferentes constituyentes de la muestra de gas. El líquido puede revestir la pared o columna cuando es una pared delgada o distribuirse sobre un material granular inerte, como la tierra de diatomea en columnas grandes empacadas.

Una vez que se introduce la muestra de gas en la columna, es transportada por un gas portador inerte (por lo general helio). La columna retiene los diversos componentes durante diferente duración de tiempo, de modo que aparecen en la corriente de descarga de la columna a diferentes tiempos. El dispositivo puede calibrarse a fin de precedir el lapso de retención para diversas combinaciones de gas-líquido. Los componentes de la corriente de flujo de salida deben detectarse de diversas formas. Es más común usar un detector de conductividad térmica; pero también pueden usarse los métodos ultrasónicos o los de captura de electrones.

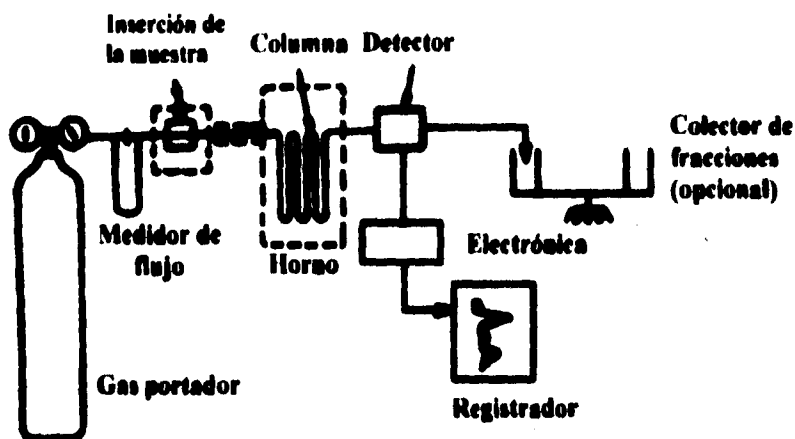


FIGURA 2.1 Cromatógrafo de gases

La salida del detector del cromatógrafo puede procesarse en forma electrónica y mostrarse en un registrador. La gráfica mostrada tiene la forma de una serie de picos. El tiempo de aparición de los picos indica al componente particular, mientras que la magnitud del pico indica la cantidad presente. La columna cromatográfica puede requerir calefacción o enfriamiento para alcanzar los tiempos apropiados de separación, de modo que se requiere un sistema de control de temperatura. También se emplea un regulador de flujo para mantener un gasto constante del gas portador.

B) ESPECTROSCOPIA DE MASAS: Un espectrómetro de masas es un aparato que separa un flujo de partículas cargadas (iones) en el interior de un espectro según sus

razones masa-carga y determina la cantidad relativa de cada uno de los tipos de ion presentes. Un sistema de espectrómetro de masa contiene los siguientes elementos: montaje de admisión de muestras, cámara de ionización, cámara de dispersión y un sistema de detección de ion (colector), como se muestra en la figura 2.2

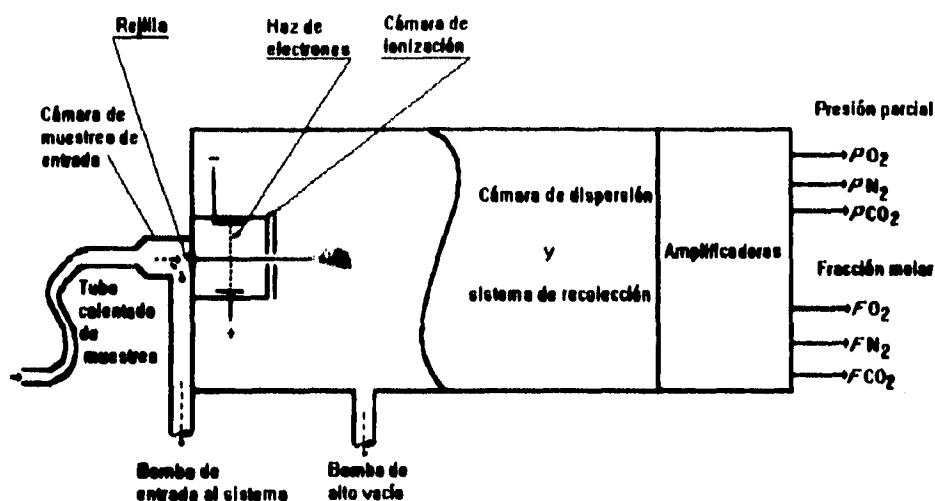


Figura 2.2 Espectroscopio de masas.

El montaje de admisión de muestras consta de un tubo capilar calentado o enfriado (aproximadamente de 0.25 milímetros de diámetro interno) y una cámara de admisión de muestras. El gas es drenado a través de este sistema por medio de una bomba rotatoria, la cual reduce la presión interna de la cámara de admisión a aproximadamente 10-20 milímetros de mercurio absoluto. Una pequeña cantidad de gas dentro de la cámara de admisión se escapa debido a la difusión a través de un tapón poroso en la cámara de ionización, la cual, junto con la cámara de dispersión, es evacuado aproximadamente a 10^{-7} milímetros de mercurio por una bomba de alta capacidad y alto vacío. Un flujo de electrones viaja entre un filamento caliente y un ánodo bombardeando el gas que entra a la cámara de ionización y causando la pérdida de electrones por las moléculas, por ello se producen iones positivos, estos son enfocados en un rayo y acelerado por un campo eléctrico dentro de la cámara de dispersión, donde el rayo iónico es clasificado en sus componentes sobre una base de masa molecular.

Las técnicas de dispersión incorporadas en los sistemas disponibles comercialmente requieren de un campo magnético o un campo eléctrico cuádrupolo o medición del tiempo de recorrido. Los rayos de ion separados caen sobre el sistema colector, produciendo la señal de salida del instrumento. Un espectrómetro de masas es de real importancia en la aplicación en donde simultáneamente se producen por separado salidas continuas de las diferentes especies químicas de interés. Esto ha sido realizado en dos maneras. Un método es mediante el uso de un simple colector, esto es, barriendo secuencialmente los rayos del componente a una alta velocidad de repetición. Existen circuitos individuales de retención y muestreo, para cada una de las especies en particular, el registro de corriente del ion como el rayo correspondiente a cada especie caen sobre el colector. El segundo se enfoca a usar múltiples colectores, la posición de los cuales puede ser ajustada, de tal manera que cada uno continuamente reciba iones de sólo uno de los componentes de interés.

La corriente de iones medida por el colector es proporcional a la presión parcial del componente correspondiente en la mezcla de gas, la inclusión de un circuito, tal que sume todos los componentes en conjunción con un apropiado proceso de calibración, se hace esto posible para expresar las salidas en términos de fracción molar.

El intervalo de peso molecular es adecuado para las mayores mediciones extendidas desde 4 (helio) a 44 unidades de masa atómica (CO_2). En rangos expandidos es posible monitorear gases tales como hexafluoruro sulfuroso (146). Algunos gases importantes producen salidas de las mismas masas atómicas. En particular N_2 y CO_2 no pueden ser medidos en presencia de éter o N_2O , así mismo, CO interfiere con N_2 .

C) METODO DE IONIZACION DE FLAMA: El método predominante para medir emisión de hidrocarburos del escape es el detector de ionización de flama (FID) mostrado en la figura 2.3. El cual se basa en el hecho de que una difusión de flama de hidrógeno puro en aire es esencialmente libre de iones y es por lo tanto no conductivo. Así, cuando una pequeña cantidad del gas analizado contiene hidrocarburos es premezclado con el hidrógeno, la concentración de iones se incrementa en grandes proporciones y la flama pasa a ser conductiva. Si un potencial eléctrico de unos 300 volts es puesto entre unos electrodos colectores (placas) rodeando la flama, una corriente eléctrica es detectada, la cual, bajo un flujo de gas constante a través del detector, es proporcional a la concentración de hidrocarburos en el gas muestreado. Los instrumentos de FID requieren de una regulación exacta del flujo del hidrógeno, del gas muestreado y del aire hacia el detector.

La velocidad de flujo típico es: gas muestreado: 3-5 ml/minuto, combustible (hidrógeno) mezclado: 75 ml/minuto y aire: 200 ml/minuto. El flujo muestreado es normalmente puesto en el sitio más lento de acuerdo con el intervalo de sensibilidad diseñado en el instrumento, posteriormente la velocidad de flujo del combustible y del aire deben de ser optimizadas (figura 2.4). El sitio óptimo corresponderá a la porción

plana de la curva cerca del pico de manera que se obtiene una alta respuesta junto con la mínima sensibilidad a los cambios en el flujo.

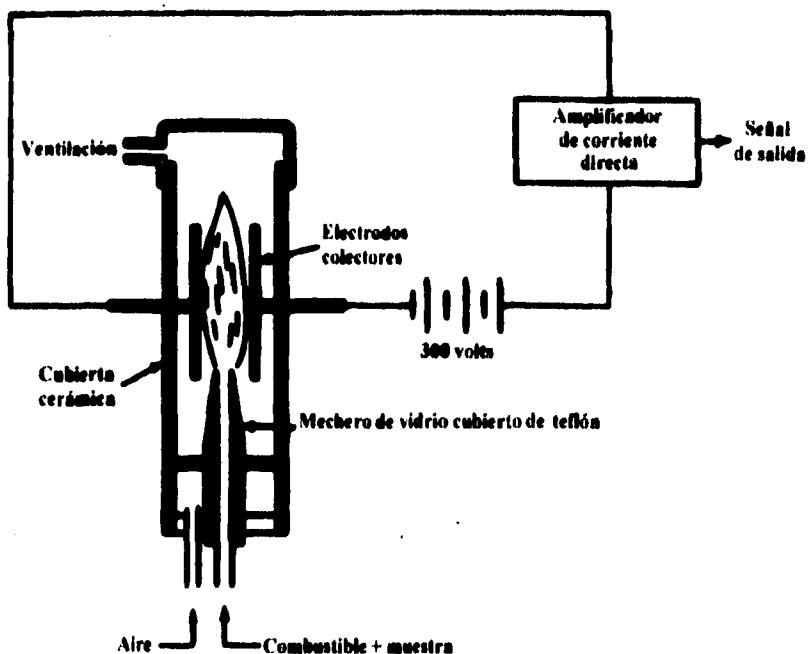


Figura 2.3 Ionizador de flama utilizando un detector burner para el análisis de hidrocarburos

El FID tiene una respuesta lineal a las concentraciones de hidrocarburos dentro de un intervalo extremadamente ancho. El mismo instrumento puede medir concentraciones, al mismo tiempo en los intervalos de porcentaje y partes por millón. La respuesta del FID a hidrocarburos resulta principalmente de los átomos de carbón dentro de la molécula del gas muestreado, estos son combinados con hidrógeno. Para los hidrocarburos, por consiguiente, la respuesta es a la vez proporcional a la concentración volumétrica de hidrocarburos en el escape automovilístico y al número de átomos de carbón por molécula. Esta última característica es relativamente independiente de la estructura o tipo de molécula del hidrocarburo.

El FID no responde a los óxidos de carbono, óxidos de nitrógeno, vapor de agua, o nitrógeno presentado en los gases del escape. Pero éste responde a componentes parcialmente oxigenados tales como aldehidos, cetonas y alcoholes, los cuales resultan de la combustión incompleta o parcial de hidrocarburos.

Mientras que las mediciones de hidrocarburos estén libres de interferencias con otros componentes, la respuesta a hidrocarburos es poco limitada en función a la

concentración de oxígeno en la muestra de gas. Esto varía de acuerdo al tipo de hidrocarburo, diseño del quemador, composición del combustible en el quemador y condiciones de operación del instrumento.

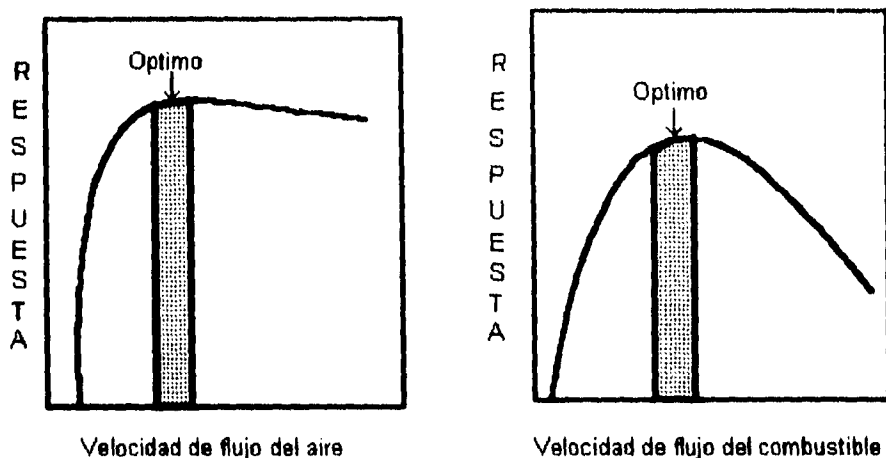


Figura 2.4 Respuesta del detector de ionización de flama de un analizador de hidrocarburos a la velocidad de flujo del combustible y del aire.

D) ESPECTROSCOPIA INFRARROJA: La espectroscopia infrarroja implica movimientos de torsión, flexión, rotación y vibración de los átomos de una molécula. Al interactuar con la radiación infrarroja, algunas porciones de la radiación incidente se absorben a determinadas longitudes de onda. La multiplicidad de las vibraciones que ocurren en forma simultánea produce un espectro de absorción altamente complejo, que depende de las características de los grupos funcionales constitutivos de la molécula, así como de la configuración total del átomo.

Vibraciones moleculares: Los átomos o grupos atómicos de las moléculas están en continuo movimiento unos con respecto a otros. Las posibles formas vibratorias de una molécula poliatómica pueden visualisarse mediante un modelo mecánico del sistema,

tal como se muestra en la figura 2.5. Las masas atómicas se representan por bolas cuyo peso es proporcional al correspondiente peso atómico, y que se distribuyen de acuerdo con la geometría espacial de la molécula. Las bolas se conectan y se mantienen en sus posiciones de equilibrio usando resortes mecánicos cuyas fuerzas son proporcionales a las fuerzas de unión de los enlaces químicos. Si el modelo se suspende en el espacio y se golpea, las bolas se moverán en forma aparentemente caótica. Sin embargo, el modelo vibratorio se observa con una luz estroboscópica de frecuencia variable, se encontrarán ciertas frecuencias lumínicas con respecto a las cuales las bolas parecen permanecer estacionarias. Esto representa las frecuencias vibratorias específicas de estos movimientos.

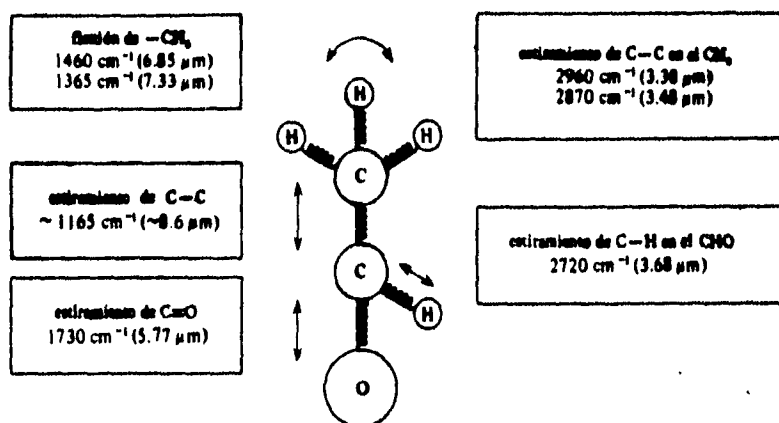


Figura 2.5 Vibraciones y frecuencias características del acetaldehído.

Para que se verifique la absorción infrarroja deben cumplirse dos condiciones. Primero, la energía de la radiación debe coincidir con la diferencia de energía entre los estados excitado y el normal de la molécula. La molécula absorberá entonces la energía radiante aumentando su vibración natural. En segundo lugar, la vibración debe ir acompañada de un cambio en el momento dipolar eléctrico.

Las vibraciones de estiramiento involucran cambios en la frecuencia de los átomos unidos a lo largo de un eje de enlace. En la figura 2.6 se ilustran las formas de vibración de un grupo de metileno. En los grupos simétricos como éste existen frecuencias de vibración idénticas.

Cuando una molécula grande contiene un sistema de tres átomos, es posible que existan vibraciones de flexión o de deformación. Estas son vibraciones que implican movimientos de átomos que salen del eje del enlace. Se pueden considerar 4 tipos:

1. Deformación o tijereteo. Los dos átomos conectados a un átomo central se mueven acercándose y alejándose uno del otro con deformación del ángulo de valencia.

2. **Balaceo o flexión plana.** La unidad estructural se inclina alternativamente de un lado hacia el otro en el plano de simetría de la molécula.

3. **Oscilación o flexión espacial.** La unidad estructural se inclina alternativamente de un lado hacia el otro en un plano perpendicular al plano de simetría de la molécula.

4. **Torsión.** La unidad estructural gira alternativamente en dos direcciones alrededor del plano de simetría de la molécula.

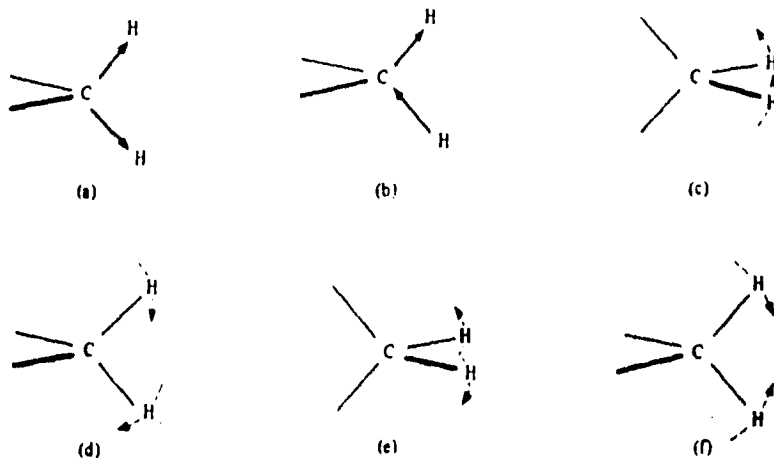


Figura 2.6 Formas de vibración del grupo H-C-H. (a) Estiramiento simétrico, (b) estiramiento asimétrico, (c) oscilación o flexión espacial, (d) balanceo o flexión asimétrica plana, (e) torsión o flexión espacial, (f) tijeo o flexión simétrica plana

La intensidad de una banda de absorción infrarroja es proporcional al cuadrado de la velocidad de variación del momento dipolar con respecto al desplazamiento de los átomos. Tal como lo definen las leyes de la mecánica cuántica, las vibraciones no son movimientos aleatorios, sino que se verifican a frecuencias específicas dictadas por las masas atómicas y las fuerzas de los enlaces químicos. En forma matemática, esto puede expresarse como,

$$\nu = \left(\frac{1}{2\pi c} \right) \sqrt{\frac{k}{\mu}} \dots\dots\dots(2-1)$$

donde ν es la frecuencia de la vibración, c es la velocidad de la luz, k es una constante de fuerza y μ es la masa reducida de los átomos involucrados.

Por ejemplo, calcular la frecuencia fundamental esperada en el espectro de absorción infrarrojo para la frecuencia de estiramiento de C-O. El valor de la constante de fuerza es 5.0×10^9 dinas/cm.

$$\nu \text{ [en cm}^{-1}\text{]} = \frac{1}{2(3.14)(3 \times 10^{10})} \sqrt{\frac{(5 \times 10^9)(12+16)(6.023 \times 10^{23})}{(12)(16)}}$$

$$= 1110 \text{ cm}^{-1}$$

El espectro infrarrojo está dividido en tres regiones, con los límites de las divisiones basados en las capacidades de los instrumentos (tabla 2.1). Para estas diferentes regiones se requieren diversos tipos de fuentes de radiación, sistemas ópticos y detectores. El espectrofotómetro común es un instrumento que cubre un intervalo de 4000 a 650 cm^{-1} (2.5 a $15.4 \mu\text{m}$). Los espectrofotómetros modernos generalmente cuentan con aditamentos que permiten supresión de velocidad, expansión de la escala, exploraciones repetitivas. También pueden usarse accesorios tales como condensadores de haz, unidades de reflectancia, polarizadores y microceldas, que amplían la versatilidad y precisión del instrumento.

Región del Espectro Electromagnético

	Infrarrojo cercano		Infrarrojo medio		Infrarrojo lejano	
Número de ondas, cm^{-1}	de 12500		de 4000		de 200	
	a 4000		a 200		a 10	
Longitud de onda, μm	0.8 - 2.5		2.5 - 50		50 - 1000	
Fuente de radiación	Lámpara de filamento tungsteno		Lámpara de Nernst, Globar, o bobina de alambre de Nichrome		Lámpara de arco de mercurio de alta presión.	
Sistema óptico	Uno o dos prismas de cuarzo o monocromador doble de prisma-rejilla		Dos o cuatro rejillas difracción plana con un monocromador de prisma o filtros infrarrojos		Instrumentos de rejilla de haz doble para $700 \mu\text{m}$; espectrómetro de interferencia para $100 \mu\text{m}$	
Detector	Sulfuro de plomo fotoconductor		Termopar, bolómetro Golay		Golay, piroeléctrico	

TABLA 2.1 Componentes de los espectrofotómetros infrarrojos.

Los espectrofotómetros para la región infrarroja están formados por los mismos componentes básicos de los instrumentos usados para la región ultravioleta y visible, aunque las fuentes de radiación, los detectores y los materiales empleados en la fabricación de los componentes ópticos difieren, excepto en el infrarrojo cercano. La radiación proveniente de una fuente que emite en la región infrarroja se transforma en impulsos por medio de una interrupción pulsatoria a baja frecuencia de unas 10 a 26 veces por segundo, y se hace pasar alternativamente a través de la muestra y de la referencia antes de entrar al monocromador. Esto reduce el efecto de radiación parásita, que es un problema bastante serio en la mayor parte de la región infrarroja. También es necesario controlar la temperatura y la humedad relativa en el cuarto en donde se usa el instrumento.

El CO_2 , CO y HC funcionan dentro del espectro infrarrojo medio (4.25, 4.65 y 3.4 μm , respectivamente).

Debido a la capacidad de los hidrocarburos y óxidos de carbono para absorber radiación infrarroja, como ya se estudio, existen varios métodos infrarrojos de los cuales se examinarán a continuación los de mayor interés para el escape automotriz como contaminante de aire. De los instrumentos comerciales, el analizador de gases infrarrojo no disperso (NDIR) mostrado en la figura 2.7, en su estructura básica, tiene la selectividad y sensibilidad necesaria.

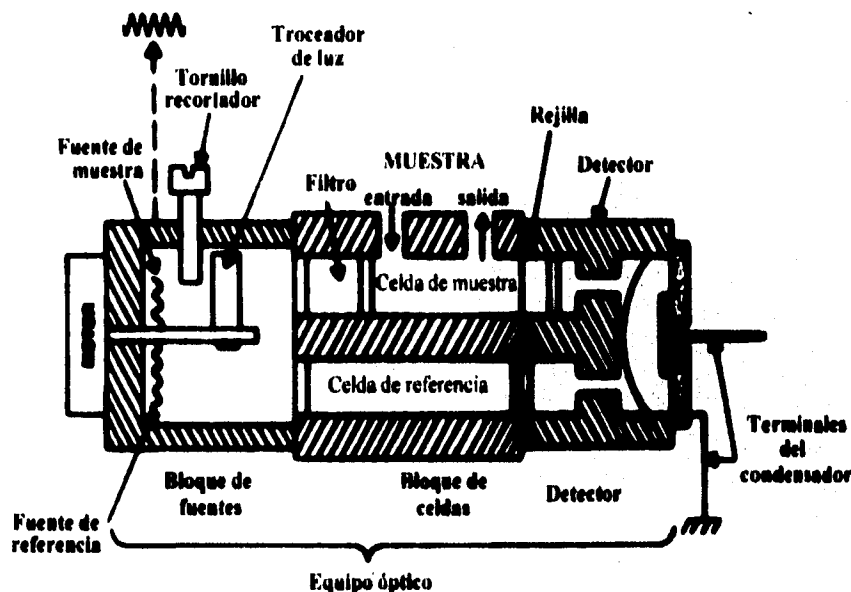


Figura 2.7 Analizador de gases infrarrojo no disperso (NDIR).

Este emplea un detector infrarrojo Luft o célula Golay, el cual es un dispositivo que contiene dos cámaras permanentemente llenas del mismo componente del gas a medir. En el caso de hidrocarburos, el detector es llenado con n-heptano o n-hexano. Un diafragma metálico delgado separa las dos cámaras y contiene un pequeño orificio que permite equilibrar lentamente el gas entre las dos cámaras. Sin embargo, algunas diferencias momentáneas de presión causadas por la desigualdad de la absorción de radiación infrarroja flexionarán el diafragma. El movimiento es detectado por el diafragma el cual forma parte de un capacitor eléctrico y sentido por los cambios de capacitancia. La radiación infrarroja desde dos colimadores es pasada a través de un celda de muestreo y una celda de referencia en paralelo y dentro de las dos cámaras del detector. La luz es modulada con un troceador mecánico (*chopper*).

La celda de referencia normalmente contiene aire seco, el cual absorbe poca radiación infrarroja, cuando el aire o nitrógeno es pasado a través de la celda de muestreo, ambas cámaras del detector reciben un flujo sustancial de radiación infrarroja. Sin embargo, el gas dentro del detector solamente absorbe la longitud de onda correspondiente a sus bandas específicas de absorción infrarroja. La energía absorbida calienta el gas conforme llegan los pulsos, causando incrementos momentáneos de presión. Si la luz es balanceada, de modo que ambas partes del detector reciban la misma cantidad de energía, los pulsos de presión dentro de cada cámara del detector se balancean mutuamente y no se genera señal alguna. Entonces el instrumento está colocado en cero (comúnmente los instrumentos se ajustan mecánicamente solo una vez y complementan el cero electrónicamente).

Si una muestra de gas del escape es ahora pasada a través de la celda de muestreo, los hidrocarburos absorberán algo de la energía infrarroja de la misma longitud de onda al igual que los hidrocarburos del detector, y una pequeñísima cantidad de tal radiación se extenderá por la muestra de gas a la cara del detector, como resultado los pulsos de presión en la cara del detector de la muestra de gas serán débiles; el resultado del desequilibrio de presiones causa que el diafragma tenga una deflexión hacia el lado de la muestra y se genere una señal. La más alta concentración de hidrocarburos en la celda de muestreo corresponde a la señal más grande.

El instrumento es no disperso porque no atenta ser hecho a limitar la radiación infrarroja pasada a través de la muestra a un rango estrecho de frecuencias por medio del uso de una reja, un prisma o un filtro óptico. En cambio, un amplio intervalo de frecuencias pasan a través de la muestra. Sin embargo el detector solo responde a la banda específica de frecuencias absorbidas por el gas contenido. Por ejemplo, un instrumento sensitivo a un hidrocarburo no detecta la absorción de energía infrarroja por un monóxido de carbono en la celda de muestra, puesto que la banda de absorción de hidrocarburos y monóxido de carbono ocurren a diferentes frecuencias.

La respuesta de un instrumento NDIR es inicialmente cercana a una línea, pero en concentraciones suficientemente altas, esta curva es notablemente dirigida hacia el eje de concentración. El tamaño de la celda es preferentemente pequeño, lo suficiente para

dar una respuesta casi tan lineal como sea congruente con la relación señal a ruido dando una exactitud de 1% a escala completa dentro del intervalo de concentración de mayor interés. Para los hidrocarburos de escape, el largo de la celda varía de 5 a 35 cm.

Para mejorar el funcionamiento del NDIR es conveniente usar filtros ópticos infrarrojos. Las frecuencias filtradas pueden ser exactamente controladas por el fabricante, ensamblados con detectores de estado sólido tales como silicato de plomo y amplificadores de estado sólido. Los instrumentos comerciales usan detectores infrarrojos del tipo termistor, termopilas, etc. Los instrumentos al mismo tiempo miden hidrocarburos, monóxido de carbono y dióxido de carbono. Estos contienen una bomba de prueba, una trampa de agua y un filtro. Las tres configuraciones básicas de este tipo de instrumento son ilustrados en la figura 2.8

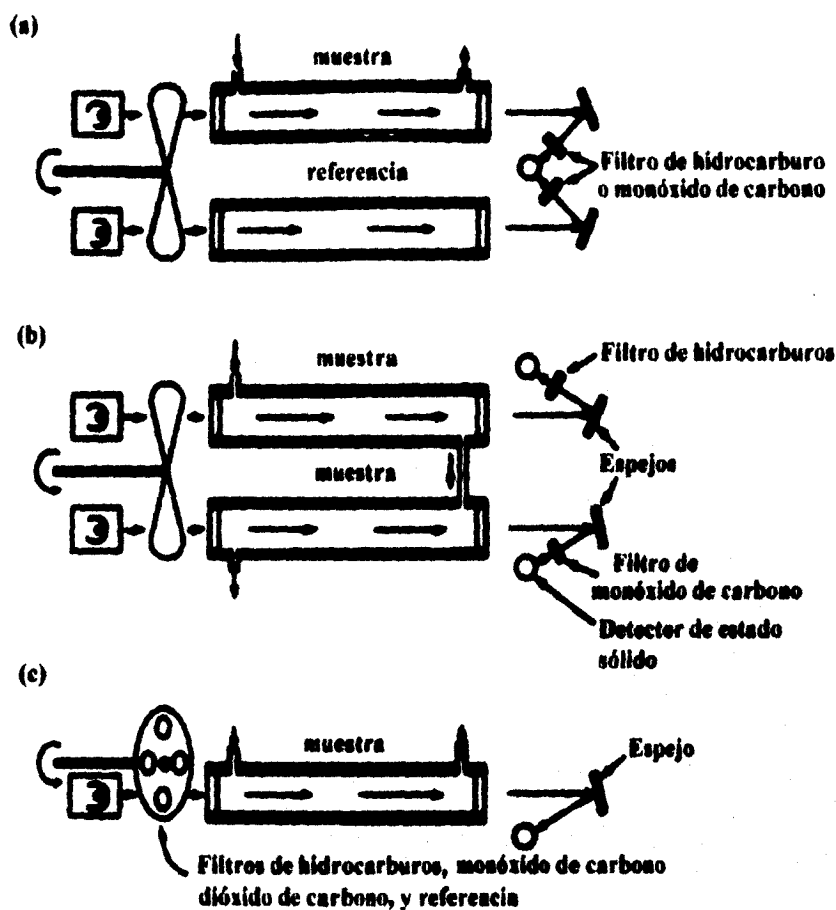


Figura 2.8 Configuraciones básicas del instrumento NDIR con filtros ópticos

La configuración mostrada en la figura 2.8a es un analizador de doble haz de luz, con un filtro óptico y un detector de estado sólido, los rayos de luz infrarroja son modulados y atraviesan las celdas de referencia y de muestreo, con la ayuda de un espejo dentro del detector después de pasar a través del filtro óptico.

La configuración mostrada en la figura 2.8b no tiene celda de referencia, en este caso, el cero es tomado como la respuesta del detector a la total energía de la fuente pasada por el filtro. Mientras que este método lleva la ventaja de simplicidad, su estabilidad del cero es fuertemente dependiente a la temperatura de la fuente y al termostato de la celda.

El sistema mostrado en la figura 2.8c realiza el filtro óptico una parte integral del cortador de luz, éste tiene filtros para hidrocarburos, monóxido de carbono y dióxido de carbono, un cuarto filtro actúa como de referencia, el cual pasa una banda angosta de frecuencia inmediata pero no traslapa las bandas de hidrocarburos con los óxidos de carbono. La frecuencia de referencia reduce sensibilidad del instrumento a los efectos de temperatura citados por el tipo de instrumento de la figura 2.8b, solo es necesario una celda de muestreo en esta configuración.

El comportamiento específico de los instrumentos con filtros ópticos es sensible a la elección de la frecuencia central y del ancho de banda. Pequeños traslados en el centro de la banda alteran la respuesta relativa del instrumento a las concentraciones de la muestra.

Se han empleado varias técnicas para proporcionar una calibración interna y así evitar el uso de calibración y espacio de gases. Por ejemplo, se han empleado cuñas mecánicas para interrumpir la trayectoria de luz, otros diseños empleados son barras sólidas, pantallas, cuchillas de filtros ópticos o troceadores (*chopper*) rotatorios, los cuales ocasionan atenuación en la señal. La tendencia, sin embargo, es en la dirección de calibración electrónica, la cual parece ser razonablemente satisfactoria para los analizadores comerciales.

Los instrumentos comerciales empleados para medir escalas no lineales, dan una lectura directa de concentración y de esta manera evitan el uso de curvas de calibración. Si la calibración se altera, un ajuste interno es necesario para realinear la respuesta correspondiente con la escala.

Después de revisar los métodos para medir concentración de gases, se consideró el más apropiado para medir HC, CO y CO₂ el método infrarrojo no disperso por las siguientes razones:

El método infrarrojo no disperso (NDIR) no necesita de inyección de gases externos, como los métodos de cromatografía de gases (CG) y espectrometría de emisión de flama (EEF).

La utilización de filtros ópticos en el NDIR evita el traslape de dos gases en la detección del transductor, lo cual no se logra con el método de espectrometría de masas (EM) y el EEF.

El NDIR es más sencillo en su implementación que los otros, ya que no requiere de tantos y tan costosos aditamentos, además de poder medir simultáneamente a los tres gases .

CAPITULO III

SELECCION DE LOS TRANSDUCTORES A UTILIZAR Y DISEÑO DE LOS ACONDICIONADORES DE SEÑAL.

Aplicando el método infrarrojo no disperso (NDIR) para la medición de concentración de los gases contaminantes de interés, mencionados en los capítulos anteriores, ahora se analizarán los transductores para tal método.

Los transductores que proporcionan una salida eléctrica utilizable en respuesta a una radiación electromagnética incidente en la porción UV-visible-IR del espectro se conocen como transductores de luz, fotosensores, fotocélulas, etc. Estos elementos de transducción actúan además como elementos sensores.

Los transductores de luz se pueden clasificar en dos categorías principales: detectores cuánticos (fotónicos) y detectores térmicos. Los detectores fotónicos dependen de los efectos fotoconductores internos, que resultan de la transición de un electrón de la banda de valencia a una banda de conducción del semiconductor.

Los detectores térmicos, a su vez, son aquellos en que la radiación produce un efecto de calentamiento que afecta a una propiedad física del detector.

Los detectores fotónicos emplean transistores fotovoltaicos, fotoconductivos, unión-fotoconductiva, fotoemisivos o fotoelectromagnéticos. Los sensores térmicos utilizan métodos de transducción termoeléctrica, bolométrica, fotoeléctrica actuada por presión (célula Golay) o piroeléctrica. Estos métodos de transducción se muestran en la figura 3.1.

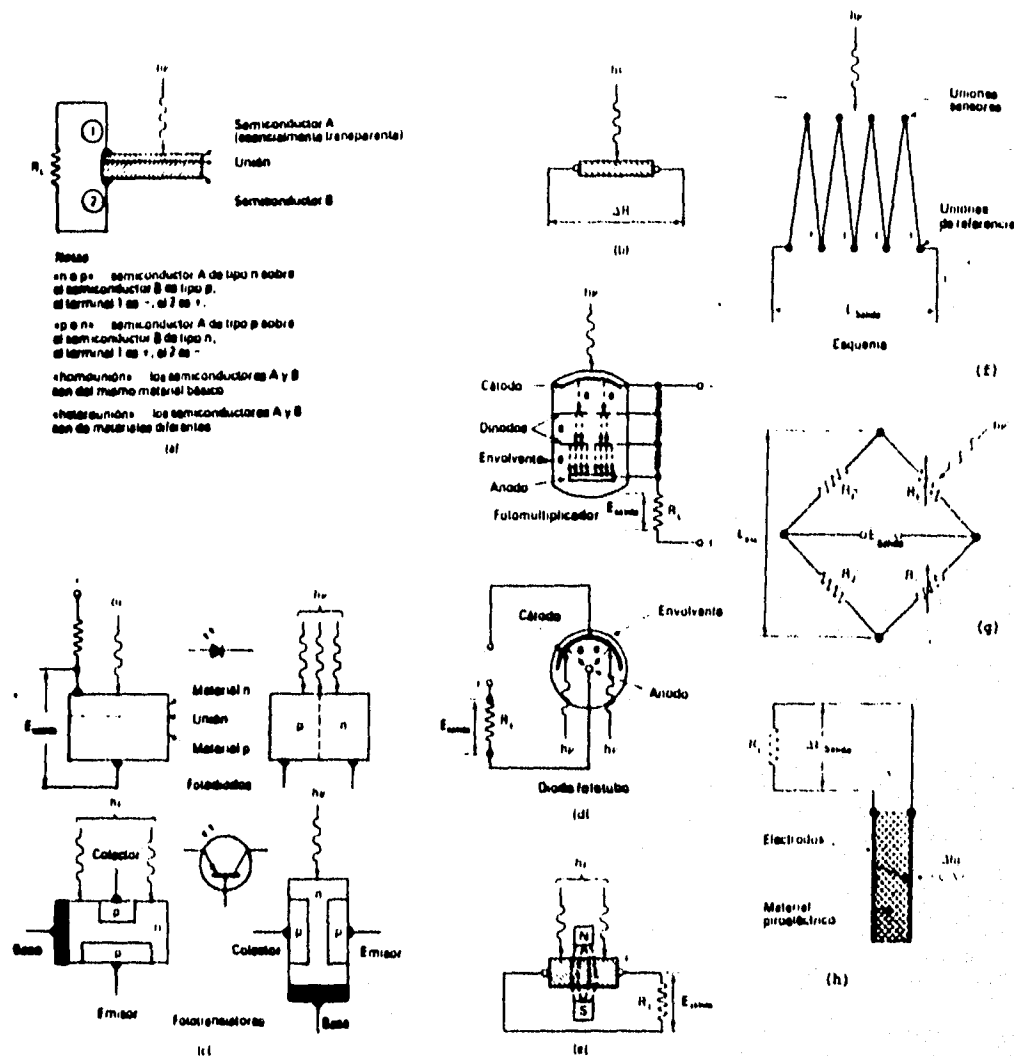


Figura 3.1 Métodos sensores de luz básicos (detección de radiación): a) fotovoltaico; b) fotoconductor; c) unión-fotoconductora; d) fotoemisivo; e) fotoelectromagnético. (Detección térmica): f) termoelectrico (termopilas); g) bolométrico; h) piroeléctrico.

Los detectores térmicos se pueden emplear en un amplio intervalo de longitud de onda, de hecho en la totalidad de la región espectral en la que se puede considerar al elemento absorbente como cuerpo negro, pero tiene sensibilidades relativamente bajas y una respuesta lenta con respecto a los detectores cuánticos. El tiempo de respuesta establece un límite superior para la frecuencia a la que la radiación puede interrumpirse en forma útil; la masa total constituida por el receptor, el material absorbente, y el elemento sensible a la temperatura deben enfriarse o calentarse durante cada medio ciclo de la frecuencia de interrupción pulsatoria, lo cual hace necesario el uso de un troceador mecánico que interrumpa el haz luminoso como se observó en el capítulo anterior.

A diferencia de los detectores térmicos, los fotónicos tienen una respuesta más rápida y no requieren de controladores de temperatura. La única desventaja que poseen consiste en que tienen una variación en su respuesta en función de la longitud de onda del haz incidente, lo cual ocasiona su funcionamiento nulo a ciertas radiaciones.

Para el caso del CO, CO₂, y HC que son los gases de interés, utilizaremos un detector fotónico, ya que la limitante de su respuesta a ciertas radiaciones no es de peso, debido a que la absorción de estos gases se encuentra dentro del intervalo detectable. En cambio por el hecho de tener mayor sensibilidad y una mayor rapidez de respuesta, así como el no necesitar de enfriamientos y calentamientos periódicos los hace más convenientes que los detectores térmicos.

Dentro de la clasificación de detectores fotónicos existen: los fotovoltaicos, los fotoconductores, de unión fotoconductiva, y fotoemisores, de los cuales se seleccionó el fotoconductor, debido a que en una misma área es el más sensible y el que responde a la longitud de onda correspondiente al CO, CO₂, y HC.

A continuación hablaremos en particular del detector fotoconductor:

Son dispositivos resistivos cuya resistencia decrece al aumentar la iluminación. El valor de resistencia absoluto de un sensor fotoconductor, en cualquier momento, depende del material fotoconductor escogido, su espesor, área de la superficie y geometría del material, geometría de los electrodos, composición espectral de la luz incidente, nivel de iluminación, temperatura de operación y la diferencia entre los niveles de luz presentes y previa, así como los tiempos de exposición a estos niveles.

Existen detectores fotoconductores de diferentes características según el material de elaboración.

Los detectores fotoconductores de sulfuro de cadmio y seleniuro de cadmio poseen una respuesta espectral en la región de luz visible.

La relación de resistencia oscura a luz está entre 100:1 y 10000:1 dependiendo del material específico utilizado. La relación magnitud-salida (iluminación-resistencia) es no lineal.

La no linealidad se pronunciará al aumentar la iluminación.

Los tiempos de respuesta decrecen al aumentar la iluminación.

Los detectores fotoconductores de sulfuro de plomo (PbS) y seleniuro de plomo (PbSe) se utilizan en la región espectral del infrarrojo cercano. La respuesta espectral para el PbS se encuentra entre 1 y 3 μm y para el PbSe entre 1 y 4.5 μm (a temperatura ambiental). Las constantes de tiempo varían entre 1 y 1000 μs . El área sensible de los detectores tipo armadura se encuentra entre 0.5 x 0.5 y 8 x 8 mm.

Los detectores de germanio dopado de oro, se utilizan como detectores de infrarrojo cercano, con una respuesta espectral de 1 a 9 μm , los cuales son los ideales a ser utilizados para detectar CO, CO₂ y HC, gracias a que abarcan las longitudes de onda de dichos gases.

ACONDICIONADORES DE SEÑAL

Para el desarrollo de un instrumento de medición electrónico, es necesario cuantificar la variable física a medir en función de una variable eléctrica; de las cuales la más conveniente es la diferencia de potencial.

El acondicionamiento de las señales de interés que son: hidrocarburos, monóxido de carbono, dióxido de carbono y la referencia (cantidad de gas total), se muestra en el diagrama en bloques de la figura 3.2. Desarrollándose subsecuentemente en este capítulo cada uno de los bloques.

Cabe mencionar que para cada una de las señales se utilizan los mismos acondicionadores, esto es, debido a que la diferencia en el sensado entre una señal y otra, para el método NDIR, es la frecuencia de absorción particular de cada gas.

El uso de filtros ópticos limita a cada transductor a responder únicamente a las variaciones del gas deseado, Dado que para cada señal se utiliza un transductor, teniendo cuatro transductores (HC, CO, CO₂, y Referencia) que nos proporcionan variaciones de resistencia en función de la cantidad del gas.

El transductor a utilizar es del tipo fotoconductor, como ya se mencionó, varía su resistencia de acuerdo con la variación de luz generada por el cambio de la concentración

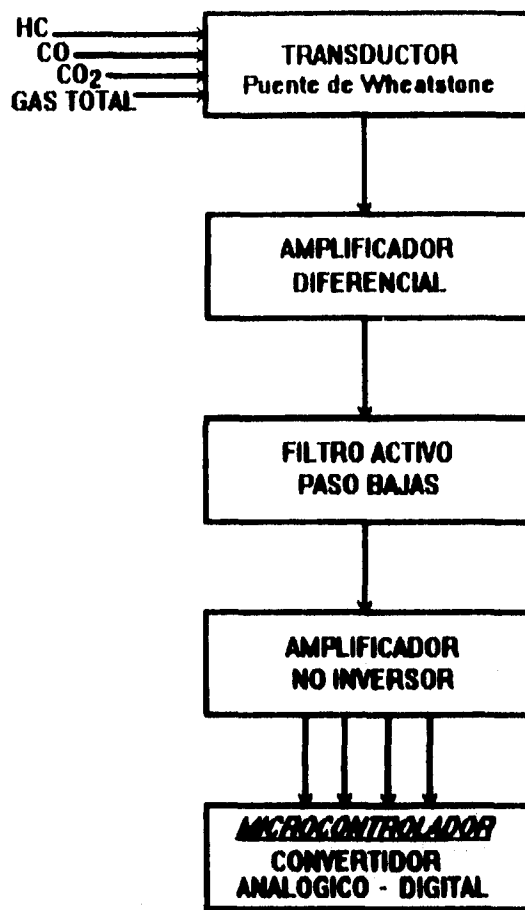
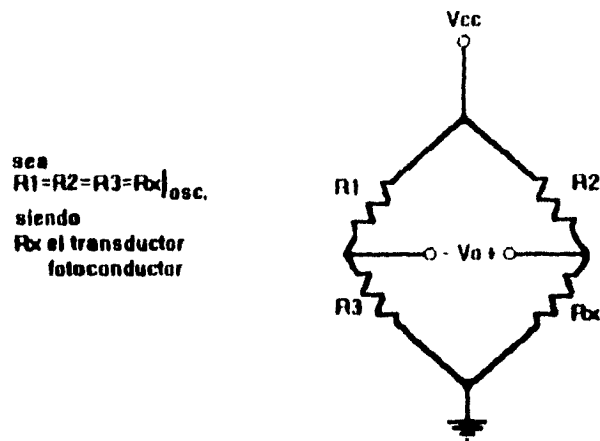


Figura 3.2 Diagrama en bloques de la etapa acondicionadora del Medidor de concentración de gases contaminantes

del gas a medir. Para obtener una relación concentración-voltaje (resistencia-voltaje), se implementó un puente de Wheatstone, colocando el transductor en uno de los brazos del puente como se muestra en la figura 3.3



$$V_o = \left(\frac{R_x}{R_x + R_2} - \frac{1}{2} \right) V_{cc} \quad (3-1)$$

Figura 3.3. Puente de Wheatstone

Como las variaciones de la resistencia son mínimas, de la ecuación (3-1) se observa que la diferencia de potencial en el puente de Wheatstone también lo es, lo cual hace necesario usar una etapa amplificadora de voltaje.

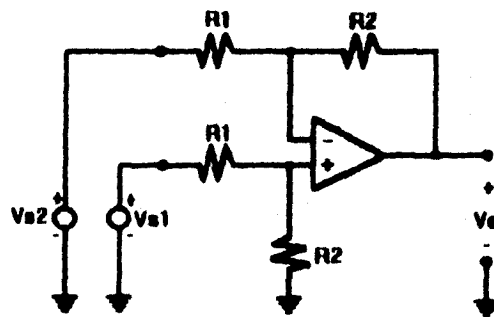


Figura 3.4 Amplificador diferencial

Se utilizó un amplificador operacional chopper estabilizado para construir el amplificador diferencial, como se muestra en la figura 3.4, el cual genera un voltaje de salida proporcional a la diferencia de los dos voltajes aplicados en sus terminales de entrada, tal como se muestra a continuación:

Usando superposición

$$V_o = V_{o1} + V_{o2}$$

donde

$$\begin{aligned} V_{o1} &= \left(V_{s1} \frac{R_2}{R_2 + R_1} \right) \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \\ &= V_{s1} \frac{R_2}{R_1} \end{aligned}$$

y

$$V_{o2} = -V_{s2} \frac{R_2}{R_1}$$

por tanto

$$V_o = (V_{s1} - V_{s2}) \frac{R_2}{R_1}$$

El amplificador operacional chopper estabilizado, es un amplificador de instrumentación ideal para ser operado en amplificación de señales de DC, ya que su funcionamiento interno consiste en trocear (interrumpir) la señal de DC para generar una señal cuadrada a la frecuencia de interrupción, generalmente esta entre 10 y 50 Hz. La señal cuadrada generada es amplificada, y posteriormente se rectifica (regenera a una señal de DC).

El amplificador operacional chopper estabilizado utilizado fue el MAX 430, el cual cuenta, entre otras, con las siguientes características:

Slew Rate:

0.5 V/ μ s

Bajo voltaje de ruido a la entrada: $0.3\mu\text{Vp-p}$

Voltaje máximo de offset: $5\mu\text{V}$

Los sistemas, tanto mecánico como eléctrico, de los vehículos automotores generan gran cantidad de ruido que interfiere al sistema de medición en general. Con el propósito de minimizar las interferencias al sistema, se filtraron cada una de las señales a medir. Dado que las señales son de DC, el filtro requerido es un pasobajas, que opere con una frecuencia de corte muy baja, de 10 a 30 Hz.

Para tal efecto se implementó un filtro activo paso bajas con topología de realimentación positiva, como se muestra en la figura 3.5.

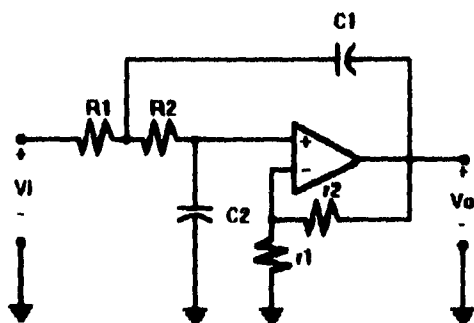


Figura 3.5 Filtro activo Paso bajas, de realimentación positiva

A continuación se muestra el análisis del filtro paso bajas con topología de realimentación positiva.

De la topología de realimentación positiva, del filtro paso bajas, sabemos que T_v está dado por:

$$T_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{k T_{FF}}{1 - k T_{FB} + \frac{k}{A}}$$

siendo

$$T_{FF} = \left. \frac{V1}{V2} \right|_{V3=0}$$

$$T_{FB} = \left. \frac{V1}{V3} \right|_{V2=0}$$

si el amplificador operacional se considera ideal, $A=\alpha$, entonces se elimina el término k/A , quedando:

$$T_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{k T_{FF}}{1 - k T_{FB}}$$

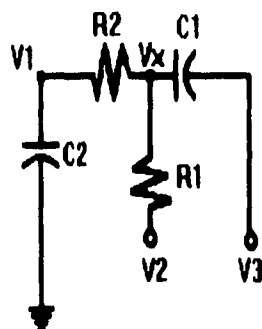
Como se sabe T_{FF} y T_{FB} tienen los mismos polos, por lo tanto estas funciones pueden escribirse como:

$$T_{FF} = \frac{N_{FF}}{D}$$

$$T_{FB} = \frac{N_{FB}}{D}$$

donde N_{FF} y N_{FB} representan los ceros de la red RC y D representa los polos de la misma red RC

$$T_v = \frac{k N_{FF}}{D - k N_{FB}}$$



Red RC del filtro pb

Aplicando leyes de
Kirchhoff en los nodos
V1 y Vx, obtenemos
las siguientes ecuaciones:

$$-\frac{1}{R_2} + \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + sC_1 \right) V_x - \frac{1}{R_1} V_2 = sC_1 V_3$$

$$\left(\frac{1}{R_2} + sC_2 \right) V_1 = \frac{1}{R_2} V_x$$

de las ecuaciones obtenidas al aplicar leyes de Kirchhoff a la red RC del filtro paso bajas
obtenemos:

$$T_v = \frac{\frac{k}{R_1 R_2 C_1 C_2}}{s^2 + s \left(\frac{1}{R_1 C_1} + \frac{1}{R_2 C_1} + \frac{1-k}{R_2 C_2} \right) + \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}}$$

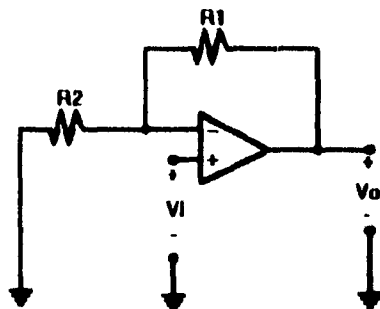
donde:

$$k = 1 + \frac{r_1}{r_2}$$

$$\text{sea } r_1 = r_2$$

por lo tanto $k = 2$

Una vez filtradas las señales, se procedió a acondicionarlas en magnitud a través de un amplificador no inversor, con el fin de obtener una mayor resolución durante la conversión analógica-digital subsecuente, asimismo se implementó un regulador de voltaje usando un diodo zener, como voltaje de referencia alto en el convertido analógico-digital.



$$\frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{R1}{R2}$$

partiendo de $V_o = 2V_i$

entonces $R1 = R2$

Figura 3.7 Amplificador no inversor.

Las señales obtenidas de los amplificadores no inversores son digitalizadas para ser procesadas y posteriormente desplegadas, todo esto con ayuda de un microcontrolador, el cual es estudiado en el capítulo IV.

CAPITULO IV

DISEÑO DE LA ARQUITECTURA DEL SISTEMA PARA EL REGISTRO Y DESPLIEGUE DE LA INFORMACION.

En el presente capítulo se describe la arquitectura del sistema para el procesamiento de las señales.

La arquitectura del sistema está basada en un microcontrolador. En particular para el desarrollo del analizador de gases contaminantes es necesario que el microcontrolador a utilizar cuente por lo menos con las siguientes características:

- a) Tamaño de palabra del controlador de 8 bits
- b) Convertidor Analógico-Digital
- c) Interfaz para comunicación serial

Tamaño de palabra del controlador: El tamaño de palabra de 8 bits como mínimo en la palabra del controlador es adecuado para la resolución requerida, y el procesamiento de las señales a manipular.

Convertidor Analógico-Digital: Es requerido debido a que se desea mostrar cuantitativamente tres variables físicas, concentración de HC, CO y CO₂. Siendo necesario para este fin procesar cuatro señales analógicas (Voltaje de las señales de referencia, Vref, de hidrocarburos, Vhc, de monóxido de carbono, Vco y de dióxido de carbono, Vco₂).

Interfaz para comunicación serial: Como proyección del trabajo se desea tener un historial de la combustión del automóvil, así como un sistema experto para el diagnóstico automotriz, para lo cual se requiere de una computadora personal, siendo necesario para su comunicación la utilización del puerto serial.

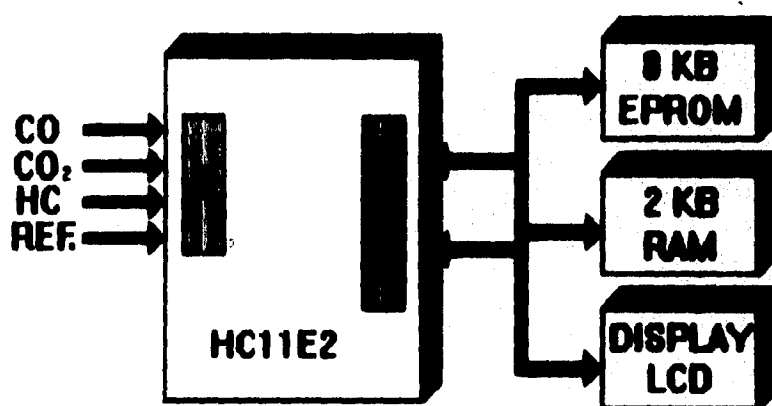


Figura 4.1 Arquitectura del Sistema de Medición de Concentración de Gases Contaminantes.

Considerando para la selección del microcontrolador estos tres factores, así como el costo, facilidad de adquisición y herramientas de manejo para su programación y simulación, se eligió un microcontrolador de la familia MC68HC11 fabricado por Motorola en la versión E2. También nos ofrece por su tecnología de alta densidad CMOS (HCMOS), un tamaño reducido, alta velocidad con el bajo consumo de energía y alta inmunidad al ruido.

El microcontrolador posee un convertidor analógico-digital de ocho canales, con una resolución de 8 bits, como ya se mencionó, el cual puede ser empleado de diversos modos de operación: como convertidor de una, cuatro u ocho señales; ya sea en modo continuo, esto es que al realizar una conversión y almacenar el dato en el registro correspondiente, se procede automáticamente a efectuar otra conversión, así sucesivamente hasta leer otra disposición en el registro ADCTL, lo cual se detallará posteriormente, o en modo discontinuo; en este modo se realiza solo un ciclo de conversiones (1,4 u 8) cada vez que se activa el convertidor. Para el presente trabajo se empleo como convertidor discontinuo de cuatro señales.

En general el microcontrolador MC68HC11E2 puede operar de dos modos; modo simple, empleando sus memorias RAM y EEPROM internas y modo expandido, requiere de memorias RAM y EPROM externas. Debido a que el programa final con todas sus etapas, conversión A/D, procesamiento y análisis de las señales y despliegue y/o transmisión de la información, para lo cual fue pensado el medidor de concentración de gases requerirá más de 2KB, que es el tamaño de la EEPROM interna del microcontrolador, por tal razón se trabajó con una memoria EPROM de 8KB externa.

Así también, al requerir almacenar información de las muestras de los gases contaminantes se utilizó una memoria RAM de 2KB externa. Todo esto nos lleva a realizar una distribución del espacio requerido por los periféricos, lease RAM, EPROM y LCD, y los registros propios del microcontrolador así como la memoria RAM interna, esta distribución o mapeo se presenta en la figura 4.2.

El hecho de usar el microcontrolador en modo expandido, implica el conectar los pines MODA y MODB a Vcc, o sea darles un valor ALTO. Además de utilizar un "latch para operar el puerto C como bus de direcciones bajas y de datos, para lo cual se utilizó el circuito integrado 74LS373. El puerto B funciona como bus de direcciones altas por lo que no necesita de un "latch".

Como se muestra en la figura 4.1, se utiliza el puerto E del microcontrolador como entrada de las señales analógicas, provenientes de los acondicionadores de señal a digitalizarse, de la siguiente manera:

Señal de monóxido de carbono PE0

Señal de referencia	PE1
Señal de dióxido de carbono	PE2
Señal de hidrocarburos	PE3

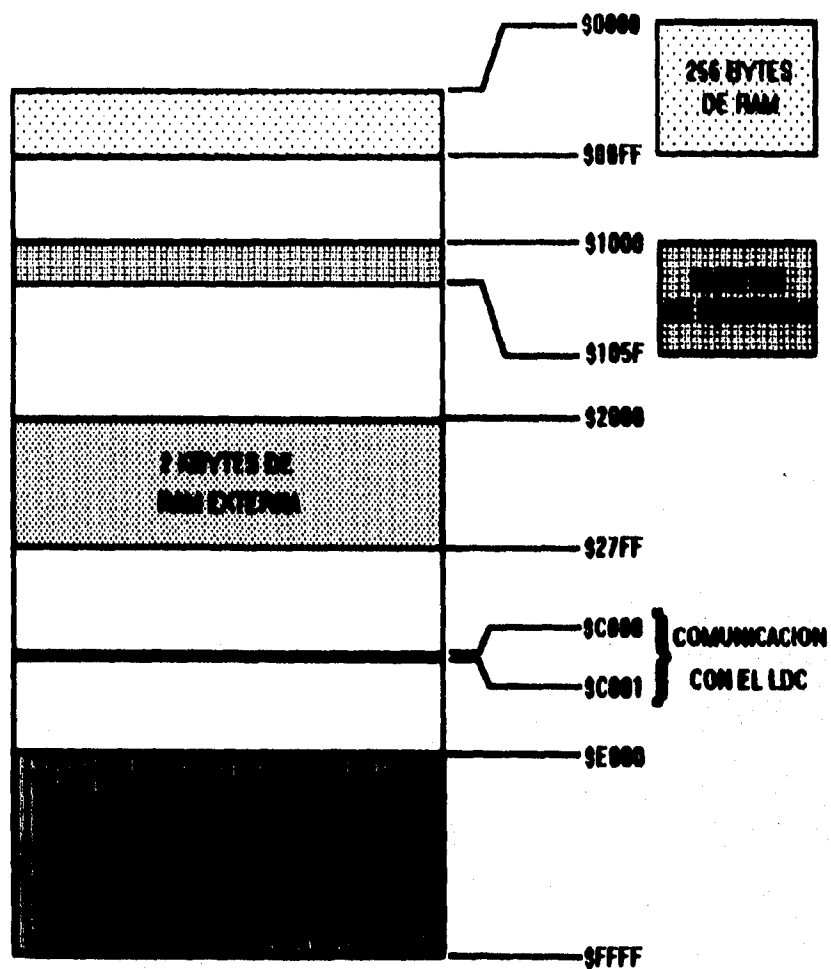


Figura 4.2 Mapa de memoria

Para el presente trabajo se muestran los resultados de las mediciones por medio de un display de cristal líquido de matriz de puntos.

El manejo del Display de Cristal Líquido (LCD) se realiza con el bus de datos y el bus de direcciones para la transmisión de la información y su control respectivamente. Esto es, por medio de los bits de direccionamiento A00, A13, A14 y A15 y el pin R/W del microcontrolador se activa el LCD y el bus de datos se utiliza para mandar a escribir o leer los registros requeridos, así como su contenido, una explicación más detallada se presenta posteriormente en este capítulo.

Las memorias externas requieren de los buses de direcciones y de datos, así como de los pines de control R/W, E y AS del microcontrolador para su funcionamiento de manera similar al display de cristal líquido.

Cabe mencionar que para llevar acabo el mapeo de memoria que se observa en la figura 4.2 se utiliza un decodificador (CI 74LS138), el cual habilita a las memorias y al LCD cuando son direccionados.

PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA

Una vez realizada la etapa de acondicionamiento de las señales analógicas el siguiente paso es, apoyado en la arquitectura del sistema, convertirlas a señales digitales para facilitar su procesamiento y el despliegue de la información deseada, como se muestra en la figura 4.3 a través de un diagrama de flujo.

Inicialización del microcontrolador

Primeramente, se debe inicializar la arquitectura del sistema, definiendo las palabras de control para establecer el modo de operación de la arquitectura del sistema, y direccionamientos para llamar al programa, iniciar memorias y activar el LCD.

Como se mencionó el microcontrolador trabaja en modo expandido por lo que es necesario mantener en ALTO el nivel lógico en los pines MODA y MODB de microcontrolador, durante el reset, de esta manera se selecciona el modo expandido.

Como inicialización del programa se declara la localidad de memoria en que comienza el programa, que es la \$E000. Posteriormente, se asignaron localidades de memoria a los registros de control a utilizar, como lo son: PORTA, ADCTL, ADRI, ADR2, ADR3, ADR4 y OPTION, por ejemplo; se asignó la localidad \$1030 al registro ADCTL, esto se hace para facilidad de manejo de los registros en el programa. De la

misma manera se asignaron localidades de la memoria RAM a las variables a utilizar durante la programación, Todas estas asignaciones se pueden observar en el programa del microcontrolador presentado en el apéndice B.

Una vez asignadas las localidades de la memoria RAM a utilizar se procedió a escribirles un valor de cero a cada una, o bien "limpiarlas".

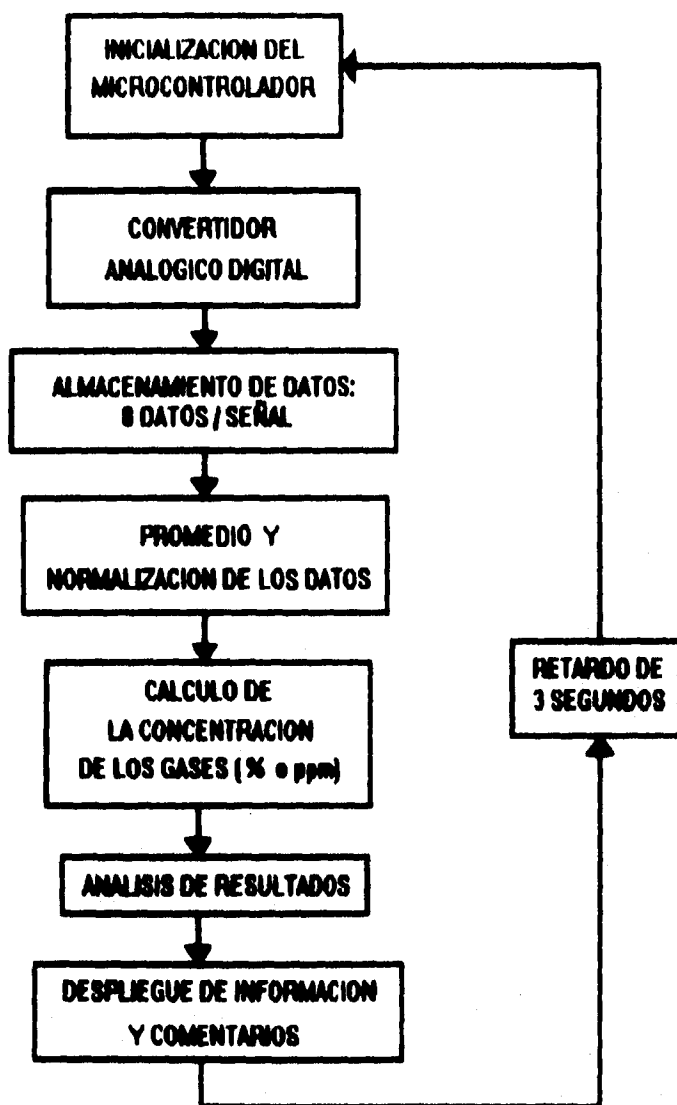


Figura 4.3 Diagrama de flujo del procesamiento de las señales.

Conversión analógica-digital y almacenamiento de datos

En primer instancia, se debe habilitar la "bomba" de carga del convertidor, para tal efecto es necesario escribir un UNO lógico en el bit de control ADPU del registro de control OPTION y esperar un tiempo para lograr la estabilización de la "bomba" de carga, antes de efectuar cualquier conversión, para tal efecto, después de activar la "bomba" de carga se aplica un retardo de 200 μ seg. para garantizar la estabilidad de la "bomba" y se aplica un CERO en el bit CSEL del registro OPTION para trabajar con el reloj interno del microcontrolador en la sincronía de la "bomba" de carga.

Como ya se mencionó el convertidor es utilizado para cuatro señales y en el modo discontinuo, por lo que es necesario especificarlo en el registro de control ADCTL escribiendo un UNO lógico en el bit MULT y un CERO lógico en el bit SCAN, los bits CA, CB, CC, y CD del mismo registro seleccionan los canales a utilizar. Al asignar un CERO lógico para cada bit, CA, CB, CC y CD, se seleccionan los canales PE0, PE1, PE2 y PE3 siendo almacenado el resultado de cada conversión analógica-digital en los registros ADR1, ADR2, ADR3 y ADR4 respectivamente.

OPTION	7	6	5	4	3	2	1	0
(\$1039)H	ADPU	CSEL	IRQE	DLY	CME	-	CR1	CR0

para nuestro caso OPTION: (\$80)H

ADCTL	7	6	5	4	3	2	1	0
(\$1030)H	CCF	-	SCAN	MULT	CD	CC	CB	CA

para nuestro caso ADCTL: (\$10)H

El sistema implementado funciona de la siguiente manera: después de realizar la conversión A/D de las cuatro señales de interés, los datos obtenidos de la conversión se encuentran en los registros ADR1, ADR2, ADR3 y ADR4 de donde son extraídos para almacenarse en localidades de memoria RAM a partir de la dirección \$2000. Esta operación se ejecuta ocho veces antes de proseguir con la siguiente etapa, que es calcular el promedio de las ocho conversiones A/D.

Entre cada proceso de conversión A/D de las cuatro señales de interés se lee la bandera CCF del registro ADCTL, la cual debe estar en ALTO para poder ejecutar otra conversión, de lo contrario hay que esperar hasta que la bandera se habilite (este en ALTO).

Procesamiento de datos.

Al término de ocho conversiones se procede a promediar los valores obtenidos de cada una de las señales de interés, esto es debido a que la combustión de los motores a gasolina no es muy estable.

$$V_{\text{muestra prom.}} = \sum V_{\text{muestra}} / 8$$

La suma de las variables se realiza mediante el acumulador D, en el cual se van sumando los valores de cada una de las localidades de memoria correspondientes a una variable y al término de sumar las ocho lecturas de la misma variable se le aplican al acumulador D tres corrimientos a la derecha, con el fin de efectuar la división entre ocho y obtener el valor promedio de cada variable.

Una vez calculado el valor promedio de la señal se almacena en la variable COP, VREFP, CO2P o HCP según corresponda.

Para el cálculo del resultado en la medición, se normalizan los valores promedio obtenidos para cada una de las señales de los gases muestra, V_{hc} , V_{CO_2} y V_{CO} , por medio de una división del valor del voltaje muestra entre el valor del voltaje de la señal de referencia, V_{ref} , esto es;

$$DATO_{\text{muestra}} = V_{\text{muestra prom.}} / V_{\text{ref. prom.}}$$

Cálculo de la concentración de los gases.

Una vez obtenidos los valores promedios normalizados se procede al cálculo de la concentración de cada gas de acuerdo a la curva de calibración respectiva, sustituyendo el valor de x por el valor de la variable $DATO_{\text{muestra}}$.

Para llevar a cabo las ecuaciones, primero se transforman a número fraccionario los coeficientes de las ecuaciones, esto, es mediante una división entre el valor del coeficiente mayor y posteriormente se realizan las multiplicaciones correspondientes. Cabe mencionar que las multiplicaciones se realizan por partes dado que se trata de multiplicaciones de 16 bits y el microcontrolador las realiza con 8 bits, del resultado obtenido se utilizan los 16 bits más significativos para operaciones posteriores.

Para efectuar las sumas se utiliza el acumulador D que es de 16 bits. Para obtener el resultado de la ecuación se multiplica el valor obtenido de las sumas por el número que fueron divididos los coeficientes al inicio del cálculo y finalmente se convierte el número

hexadecimal a decimal ya sea entero o fraccionario según sea el caso, todo esto se puede observar en el programa presentado en el apéndice.

Una vez calculado los valores de la concentración de cada uno de los gases son almacenados en memoria para ser analizados y posteriormente transformarlos al código de despliegue para ser mostrados y al mismo de tiempo que los comentarios sobre posibles fallas y soluciones en el proceso de combustión.

Despliegue de resultados.

La programación del sistema concluye con el despliegue de las mediciones y los comentarios del análisis a través de un display de cristal líquido (LCD), el cual requiere programarse antes de escribir cualquier dato, para lo cual se utiliza el bus de datos del sistema (Puerto C) para la transmisión de las palabras de control e información. Para fines de control del LCD se utilizaron los pines R/W, la dirección A0 (PC0), y las direcciones A13, A14 y A15 (PB5,6 y 7 respectivamente) del microcontrolador.

Inicialmente, el LCD es programado, para nuestro sistema, en modo carácter, se definió el tamaño de carácter de 5 por 8 y la ubicación de cada información en la pantalla. Posteriormente se 'limpia' el LCD antes de desplegar cualquier carácter, esto es, insertando espacios en blanco en toda la pantalla. Para el despliegue primero se muestra la carátula y continuamente cada 3 segundos se despliegan los datos de las mediciones obtenidos de la ecuaciones, así como los comentarios generados por el análisis de las mismas.

Cada vez que se requiere efectuar una acción en el LCD, colocamos primero en el acumulador A, del microcontrolador, el número de registro de control que realiza la acción deseada y en el acumulador B del mismo, el dato asignado al registro de control para especificar de que manera se efectuará la acción.

Posteriormente se manda a escribir al LCD el número del registro de control y en seguida el dato correspondiente. Una vez mandado el dato se procede a revisar si el bus del LCD se encuentra libre para poder recibir más información.

La revisión del bus del LCD se realiza por medio de la lectura del octavo pin, el más significativo, el cual deberá ser un UNO lógico para indicar que se encuentra desocupado y puede recibir información, la lectura se realiza por medio de la dirección \$C001.

En la figura 4.4 se observa el diagrama de tiempos de la interconexión entre el microcontrolador, MC, y el display de cristal líquido, LDC, considerando la nomenclatura que a continuación se muestra:

LCD		MC
<i>Read/Write</i>	R/W	R/W
<i>Enable</i>	E	E & 74138 (#0CXX)
<i>Register Select</i>	RS	A0, dirección 0
<i>Write and Read Data</i>	WD, RD (DB₀₋₇)	DB₀₋₇
		EXTAL

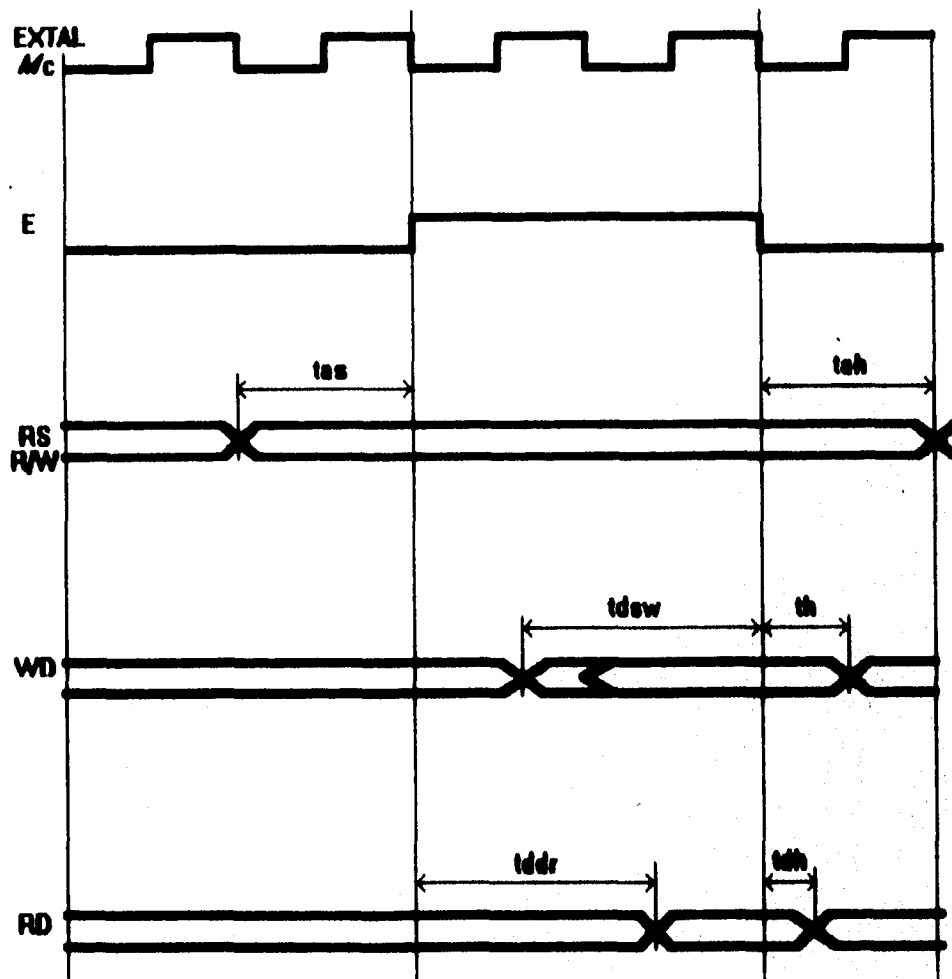


Figura 4.4 Diagrama de tiempos del Microcontrolador y el LDC.

Debiéndose cumplir los tiempos marcados en el diagrama, para el funcionamiento del LCD, lo cual se muestra en la siguiente relación:

DATOS DEL FABRICANTE (LCD)**DATOS DEL SISTEMA**

<i>Address hold time</i>	tah = 10 nseg. mín.	167 nseg.
<i>Data hold time</i>	th = 10 nseg. mín.	83 nseg.
<i>Data hold time</i>	tdh = 20 nseg. mín.	40 nseg.
<i>Data delay time</i>	tddr = 225 nseg. máx.	210 nseg.
<i>Setup time</i>	tas = 140 nseg. mín.	160 nseg.
<i>Data setup time</i>	tdsw = 225 nseg. mín.	240 nseg.

T extal = 0.167 μ seg.

Como se puede observar en la relación anterior, el tiempo máximo permitido para retardar los datos en la lectura (tddr) es de 225nseg., para lo cual el sistema implementado lo ejecuta en 210 nseg.

También se observa que el tiempo mínimo que se deben mantener los bits de control (tah) es de 10nseg., y el sistema implementado nos proporciona 167 nseg.

Siendo de manera similar para los tiempos de retención de los datos en la escritura (th) y la lectura (tdh), así como los tiempos de disposición de los bits de control (tas) y los bits de datos (tdsw).

Satisfaciendo de esta manera los tiempos requeridos al sistema para el funcionamiento del LCD.

CAPITULO V

CONSTRUCCION Y RESULTADOS

De acuerdo al desarrollo y planteamientos en los capítulos anteriores, se construyó un prototipo de un medidor de concentración de gases generados por la combustión en vehículos automotores a gasolina, que a continuación se describe:

Accesorios:

- Cuenta con una sonda flexible de 380 cm, mediante uno de sus extremos son captadas las muestras de gas desechadas por el escape del automóvil a través de un dispositivo metálico en forma de embudo.
- Una trampa de agua, la cual consiste en un filtro que bloquea en su primer etapa las partículas de H_2O , las cuales son desechadas por un orificio. En su segunda etapa contiene un material que absorbe las partículas de carbono, siendo éste desechable. La trampa de agua sirve para conservar en buenas condiciones el sistema óptico del medidor.

- Fuente infrarroja, consiste en una lámpara de tungsteno para generar la radiación infrarroja que será absorbida por el gas a muestrear y por el transductor.
- Cámara de muestreo, consiste en un tubo de 30 cm de largo, con un orificio en la superficie en cada extremo como entrada y salida del gas a muestrear.
- Cubierta metálica; toda la circuitería electrónica está protegida por cajas metálicas para evitar que la interferencia generada por el automóvil afecte el comportamiento del sistema.

Transductor y acondicionadores de señal:

La etapa de transducción y acondicionadores de señales esta constituida por un puente de Wheatstone, un amplificador diferencial, un filtro activo pasobajas y un amplificador no inversor, para cada una de las variables, como se describieron junto con sus análisis en el capítulo III. En el presente capítulo se muestra la respuesta en frecuencia del filtro activo paso-bajas y en el apéndice A los circuitos electrónicos con el valor de sus componentes respectivamente.

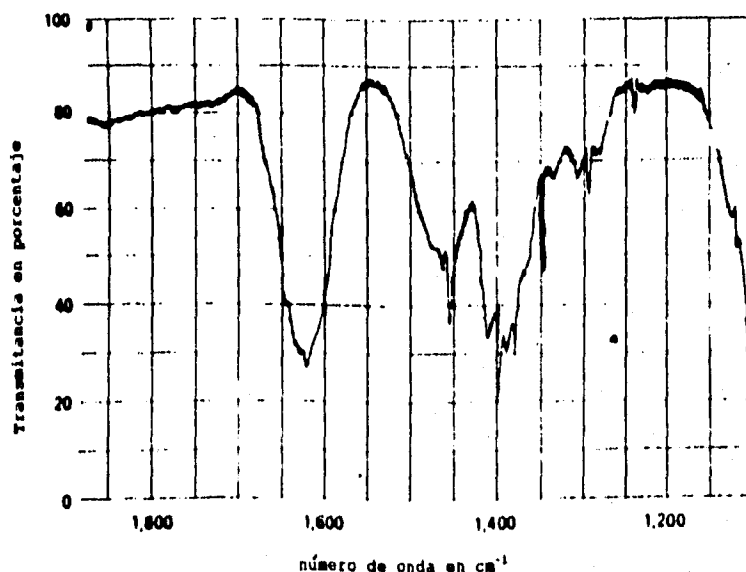


Figura 5.1 Respuesta en frecuencia del transductor

La figura 5.1 muestra la respuesta ideal de un transductor fotoconductor, la cual como se observa es no lineal y varía, como se mencionó en el capítulo III, en función del espectro en el cual se encuentre. En el prototipo se utilizó un transductor fotoconductor con las siguientes características:

- Exactitud: $\pm 5 \%$
- Repetibilidad: $\pm 2 \%$
- Excursión térmica: $0.5C/mfn.$

La figura 5.2 corrobora el análisis realizado en el capítulo III, acerca del filtro paso bajas requerido para disminuir la interferencia en las señales proporcionadas por el transductor y sus acondicionadores. El cual es del tipo paso bajas de segundo orden como se puede observar y tiene una frecuencia de corte igual a 30Hz.

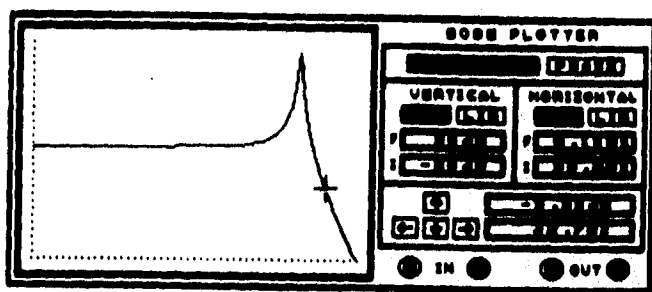
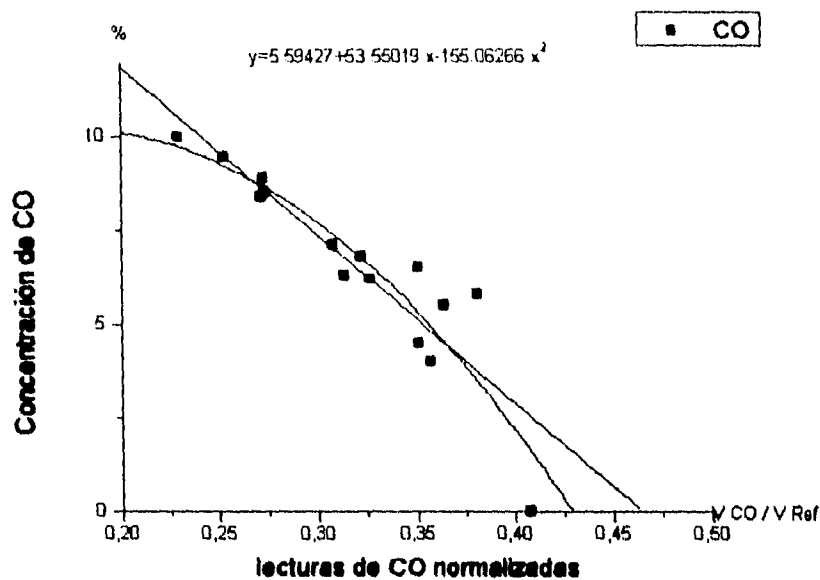
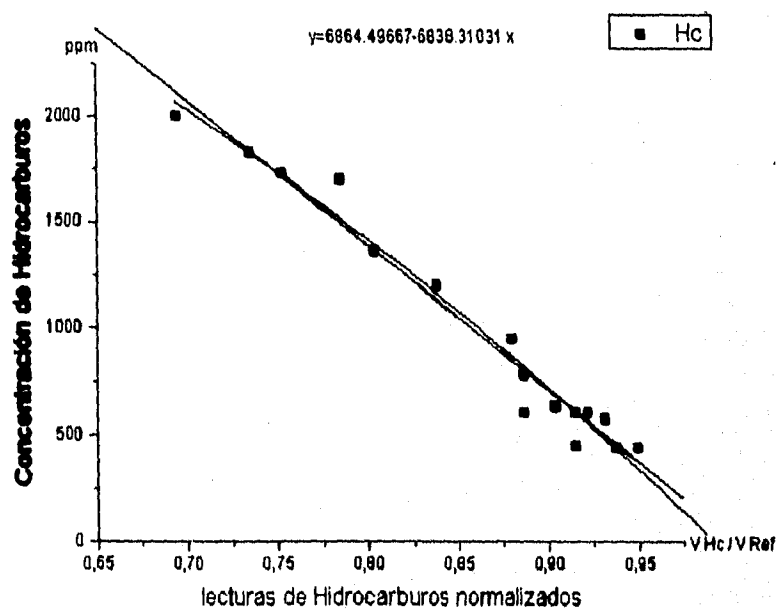


Figura 5.2 Simulación del filtro paso-bajas

Pruebas de medición:

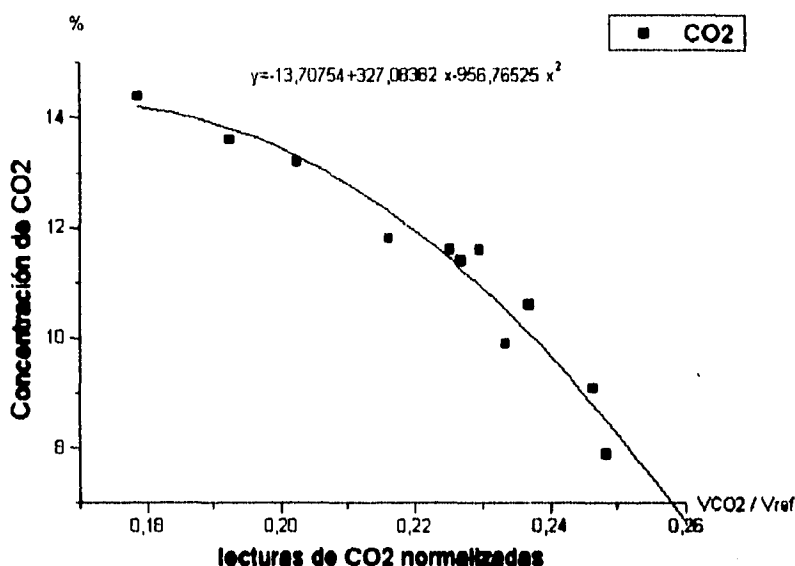
Una vez construido el Medidor de Concentración de Gases Contaminantes emitidos por motores de combustión a gasolina, se realizaron diversas pruebas para obtener las curvas características de las variables sensadas, y de variables físicas que pudieran intervenir en las mediciones, las cuales son presentadas a continuación.

Gráfica 5.1.- Regresión polinomial a partir de valores normalizado de CO (relación V_{CO}/V_{Ref}).Gráfica 5.2.- Regresión polinomial a partir de valores normalizados de Hc (relación V_{Hc}/V_{Ref})

En las gráficas 5.1, 5.2 y 5.3 se muestran las concentración de cada gas con respecto al valor normalizado, obtenido del procesamiento de cada una de las señales, así también se muestra la ecuación correspondiente para cada señal, obtenida de una regresión polinomial de primer o segundo orden. Para el caso del CO se aplica una regresión polinomial de segundo orden; ya que tiene una mayor aproximación a los datos experimentales que la regresión de primer orden como se muestra en la gráfica 5.1.

En la gráfica 5.2 se observa que la regresión polinomial de segundo orden no ofrece mayores beneficios sobre la de primer orden; por lo que se usará, facilitando el procesamiento, la regresión polinomial de primer orden.

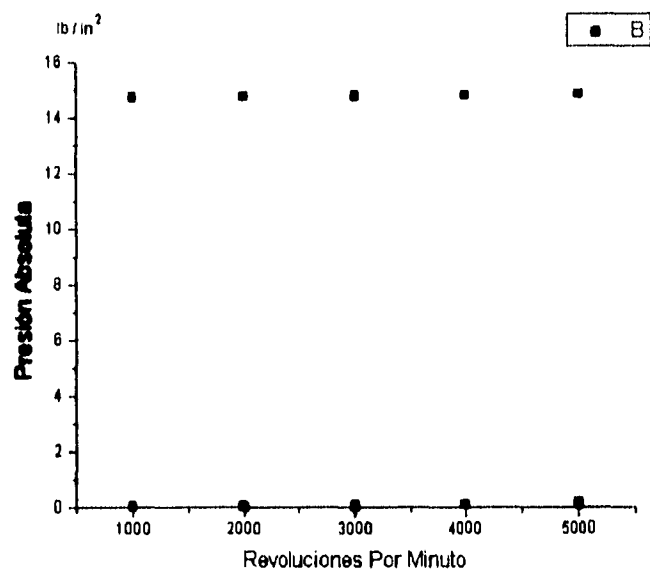
En la gráfica 5.3 de manera similar a la gráfica 5.1 se utiliza una regresión polinomial de segundo orden.



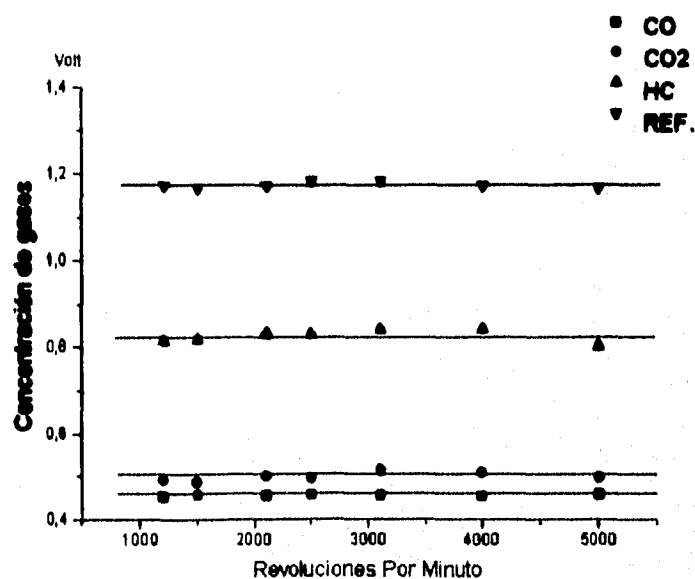
Gráfica 5.3.- Regresión polinomial a partir de los valores normalizados de CO₂, (VCO₂ / VRef).

Como se puede observar, en las gráficas 5.1, 5.2 y 5.3 se obtienen curvas diferentes para cada gas esto se debe a que el transductor responde diferente para cada frecuencia de absorción de los gases, como se muestra en la figura 5.1.

En la gráfica 5.4 se observa como la variación de aceleración del motor, revoluciones por minuto, no afecta de manera considerable en las mediciones. Todo esto se fundamenta en la característica del transductor que, por especificaciones del fabricante, garantiza una respuesta estable siempre y cuando la presión no varíe en más de 1.5 lb/plg², De esta manera no se requiere de un compensador y/o regulador de presión.



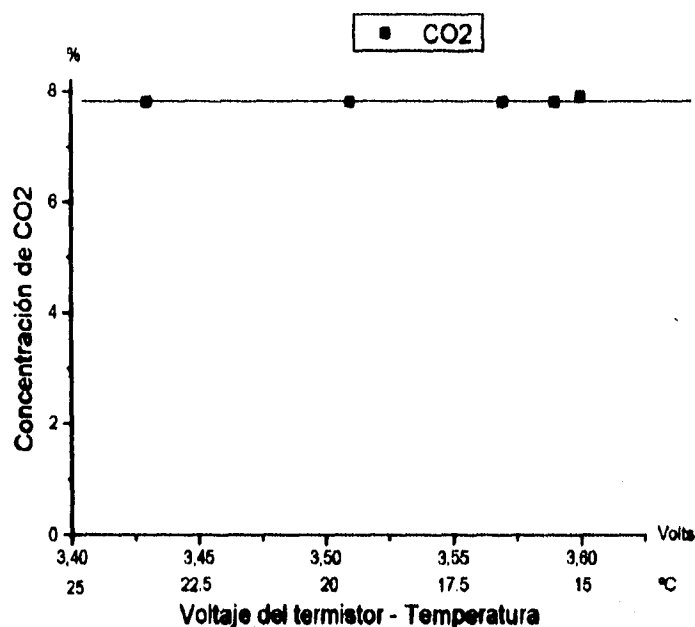
Gráfica 5.4.- Variación de la presión absoluta del gas desechado por el escape del automóvil en función a las revoluciones por minuto del motor.



Gráfica 5.5.- Muestras de cada señal en función de las revoluciones por minuto del motor.

La gráfica 5.5 corrobora la poca influencia de la presión del gas, la cual se relaciona con la aceleración del motor (rpm), en las mediciones como se observa en la gráfica 5.4

Otro factor importante que pudiera afectar a las mediciones de concentración de gases por el método infrarrojo no disperso es la temperatura, por lo que se realizaron pruebas de mediciones de concentración de gases en función de la temperatura (gráfica 5.6), observándose que no afecta la temperatura en las mediciones, dado que en las especificaciones del transductor muestra una excursión de temperatura de 0.5 C/min., siendo bastante aceptable debido a que la temperatura en el equipo no varía más de lo especificado en la excursión de temperatura, además de contar con una señal de referencia la cual sirve para compensar los efectos de los cambios de temperatura en las mediciones.



Gráfica 5.6 Variación de la medición de CO2 en función de los cambios de temperatura, manteniendo una concentración de CO2 igual a 7.8%.

Todos los valores y porcentajes de concentración de gases fueron referenciados con un medidor de concentración de gases instalado en el centro de verificación de la UNAM, como patrón de referencia.

Una ventaja que muestra el prototipo es que todas las señales desplegadas son referenciadas, por lo que siempre existe una compensación contra los cambios de temperatura, presión e intensidad luminosa.

Las características del medidor de concentración de gases contaminantes por el transductor utilizado son:

-Intervalos:

Hidrocarburos de 0 a 2000 ppm
CO₂ de 0 a 16%
CO de 0 a 10%

-Exactitud: ± 5 %

-Repetibilidad: ± 2 %

-Ruido: ± 1 %

-Excursión térmica: 0.5C/mín.

-Desviación máxima:

Hidrocarburos: 5.15%
CO₂ : 4.32%
CO : 3.03%

-Resolución:

Hidrocarburos: 8.9 ppm
CO₂ : 0.32%
CO : 0.147%

CONCLUSIONES

El trabajo realizado se trató de desarrollar con dispositivos de fácil adquisición como se planteó en la introducción, lo cual no se cumplió al 100% ya que el sensor fue obtenido por medio de un donación del extranjero y realmente no es fácil de adquirir.

Dentro del análisis realizado para el desarrollo del medidor de concentración de gases contaminantes se seleccionaron el método de sensado y transductor que se consideraron más convenientes. El método utilizado es el infrarrojo no disperso (NDIR), ya que facilita medir todas las variables de interés (HC, CO, y CO₂) y no es tan costoso y complejo como los otros, que requieren de controladores de temperatura, inyección de otros gases, etc.

El NDIR puede implementarse mediante diversos transductores fotónicos o térmicos, utilizándose para el desarrollo de este prototipo un transductor fotónico, específicamente un fotoconductor, por ser, como se menciona en el capítulo III, de respuesta rápida y facilidad para sensar las variables de interés.

El uso de un transductor fotoconductor nos representa una ventaja con respecto a los analizadores de gases contaminantes utilizados en los centros de verificación que utilizan transductores capacitivo, los cuales tienen una respuesta lenta y requieren de un mayor número de aditamentos para su funcionamiento, así como de un mantenimiento de

mayor frecuencia, ya que al variar la capacitancia del transductor, por el opacamiento de las lentes se desajusta el cero, que para el caso del prototipo desarrollado, no existe tanto problema, ya que se esta sensando la cantidad total de gas muestreado , que es la señal de referencia, la cual se usa para normalizar las señales de interés.

En lo que se refiere al cumplimiento de las normas que debe satisfacer un analizador de gases contaminantes, mencionadas en el capítulo I se puede decir que cumple con todos excepto el punto número 2, que por falta de recursos económicos no se usaron gases patrón para su calibración; y el punto 6.a) para el cual se considera como máximo una presición del 3% y el transductor tiene del 5% , como lo especifica el fabricante, esto pudiera mejorar usando filtros ópticos de menor ancho de banda, sin necesidad de cambiar el sensor, ya que existe un transape de otros gases en el sensado, que puede ser eliminado con los filtros ópticos.

El hecho de digitalizar las mediciones y obtener sus curvas de calibración, nos permitirá evaluar los resultados de la combustión del vehículo automotor, facilitandonos detectar fallas y así mismo ofrecer posibles soluciones con el fin de mejorar el proceso de la combustión. Por ejemplo, si tomamos como referencia la gráfica 1.1 podemos detectar de acuerdo a las mediciones de HC y CO, si la mezcla aire/gasolina es la estequiométrica (ideal) o si es una mezcla pobre o rica de combustible, de esta manera se pretende detectar fallas en el proceso de la combustión y tratar de corregirlas, para este ejemplo una solución sería abrir o cerrar la esprea de inyección de gasolina para ajustar la mezcla aire/gasolina.

Actualmente existen automóviles que cuentan con sistemas de sensado, logrando una "autoafinación". Lo que se pretende con el prototipo desarrollado es facilitar la interpretación de las mediciones y así auxiliar al usuario a hacer eficiente el sistema de combustión de gasolina en cuestión.

La etapa de análisis de fallas y posibles soluciones es una proyección del prototipo del analizador de gases contaminantes, para realizarse con un experto en en proceso de combustión de motores a gasolina.

Otra proyección del prototipo es aprovechar el puerto serial del microcontrolador para realizar el procesamiento de los datos dentro de una computadora personal, o bien una "Lap Top", lo cual podría ser más amigable que através del LCD, además de llevar a cabo un historial del vehículo automotor para conocer el desgaste y la durabilidad del motor.

Cabe mencionar que después de la realización de las pruebas, se observó que al usar un dispositivo en forma de embudo para recoger las muestras, durante un tiempo prolongado, se afectaba el proceso de combustión, por lo que es más conveniente usar otro tipo de dispositivo, de tal modo que no se obstruya totalmente el escape del motor.

El analizador de gases contaminantes realizado podría ser de gran utilidad en un inicio para los usuarios de vehículos automotores con sistema de carburador, siendo estos los más sencillos de ajustar sin necesidad de ser expertos en mecánica automotriz.

Para contrarrestar el efecto de la temperatura en la afectación del sensado, que aunque no afecta demasiado si ocasiona variaciones, se puede compensar con el microprocesador, previamente caracterizando las variaciones en el transductor en función de la temperatura.

BIBLIOGRAFIA

- 1- METODOS INSTRUMENTALES DE ANALISIS.**
Willard Merritt Dean / CECSA
- 2- QUIMICA GENERAL UNIVERSITARIA.**
Keenan Wood / CECSA
- 3- AIR POLLUTION V 1,2 y 3**
Stern Arthut / Academic Press
- 4- AIR POLLUTION SAMPLING & ANALYSIS DISKBOOK.**
Cheremisinoff and Morresi / Ann Arbor
- 5- MEDICAL INSTRUMENTATION: APPLICATION & DESIGN.**
Jonh G. Webster / Editor
- 6- INTRODUCTION TO OPERATIONAL AMPLIFIER: THEORY AND APPLICATIONS.**
J.V. Wait, L.P. Muelman / G. Gili (Electronic Collection)
- 7- ADVANCED AMPLIFIERS.**
Connelly / HARRIS semiconductor
- 8- ELECTRONIC MEASUREMENT AND INSTRUMENTATION.**
Oliver / Mc Graw Hill

9- INSTRUMENTATION FOR ENGINEERING MEASUREMENTS.

Dally, Riley, McConnell / WILEY

10- SENSORES Y ANALIZADORES.

Harry N. Norton / G. Gili (Colección Electrónica-Informática)

11- AIR POLLUTION FROM MOBILE SOURCE.

Biller and Harkins / Editor

12- AUTOMOTIVE EMISSIONS.

Jonh H. Jonhson / Michigan Technological University

13- FUNDAMENTALS OF AIR POLLUTION AND MOTOR VEHICLE EMISSION CONTROL.

Enviromental Protection Agency, United State (EPA) Nov 1988.

14- GACETA ECOLOGICA, diciembre 1989.

15- GACETA ECOLOGICA, diciembre 1990.

16- DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION 18 de octubre de 1988.

17- DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION 19 de octubre de 1988.

18- MECHANISMS OF POLYNUCLEAR AROMATIC HYDROCARBON EMISSIONS FROM AUTOMOTIVE ENGINES.

Laity, Malbin, Haskell and Doty / SAE 730835

19- DYNAMIC MEASUREMENT OF CARBON MONOXIDE CONCENTRATION IN AUTOMOTIVE EXHAUST USING DIODE LASER SPECTROSCOPY.

Sell, Herz, Monroe, General Motors Research Labs / SAE 800463

20- HANDBOOK OF TRANSDUCER FOR ELECTRONIC MEASURING SYSTEMS.

Harry N. Norton / G.Gili (Electronic Collection)

21- METODOS EXPERIMENTALES PARA INGENIEROS.

Holman / Mc Graw Hill

22- PRICIPLES OF ACTIVE NETWORK SYNTHESIS AND DESIGN.

Gobind Daryanani / WILEY

23- OPERATIONAL AMPLIFIERS.

Wojlaw and Moustakas / WILEY

24- MAXIM HANDBOOK.

25- LINEAR TECHNOLOGY DATABOOK.

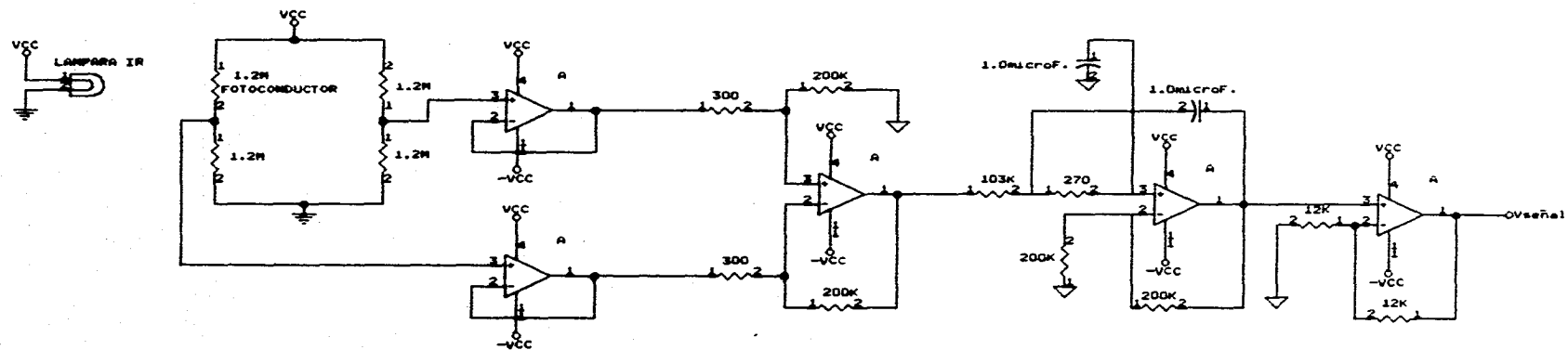
26- MOTOROLA HC11 HANDBOOK.

27- NATIONAL SEMICONDUCTOR HANDBOOK.

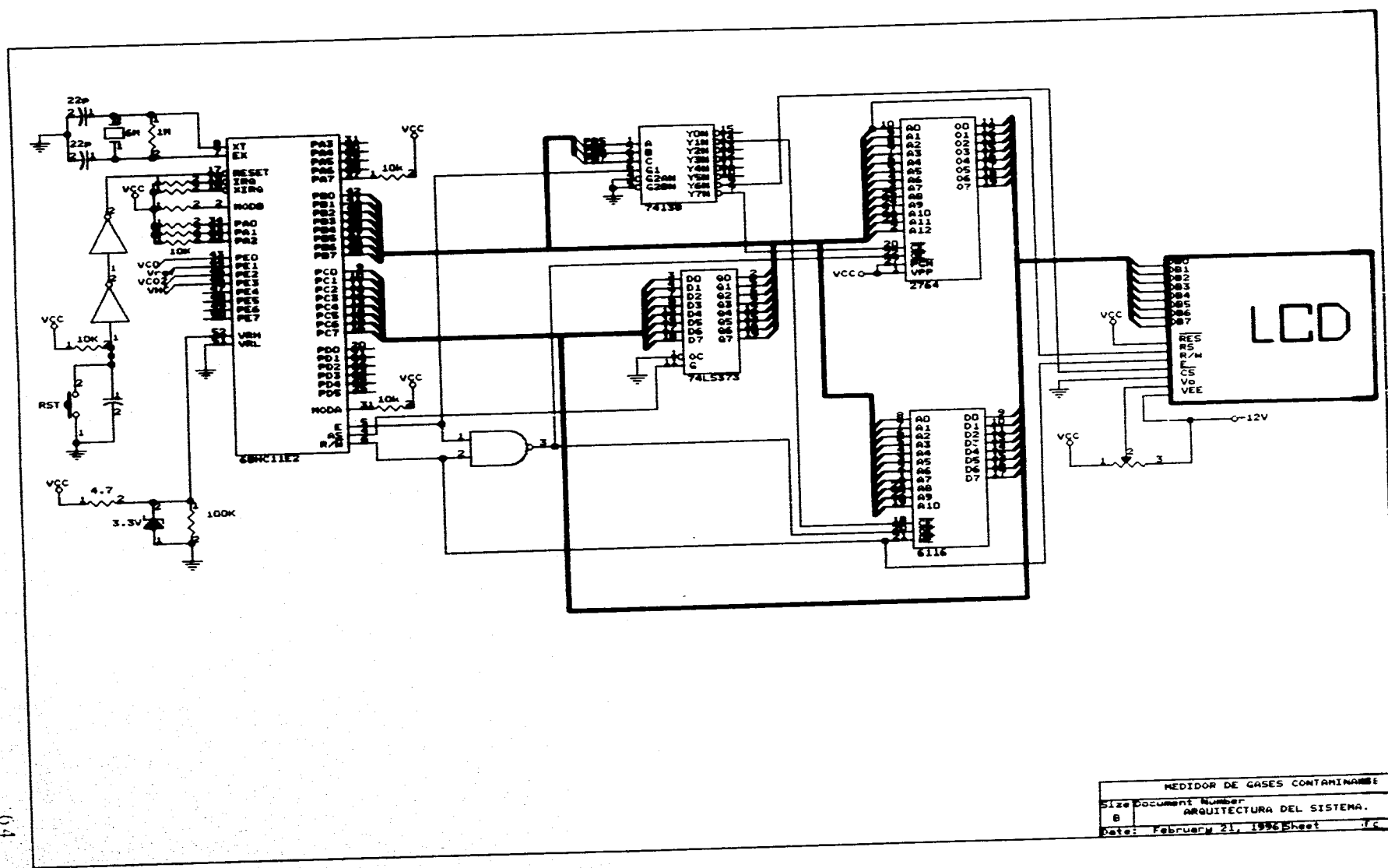
28- HITACHI HD61830 HANDBOOK.

APENDICE A

DIAGRAMAS ELECTRONICOS



Title		REDIDOR DE GASES CONTAMINANTES
Size Document Number		8
Date:		March 28, 1985



MEDIDOR DE GASES CONTAMINANTES		
Size	Document Number	
B	ARQUITECTURA DEL SISTEMA.	
Date:	February 21, 1996	Sheet 7c

APENDICE B

PROGRAMA DEL MICROCONTROLADOR

66

E000		56	HCP	EQU \$2046	
E000		57	DATO_CO	EQU \$2048	
E000		58	DATO_CO2	EQU \$204A	
E000		59	DATO_HC	EQU \$204C	
E000		60	ENTEROHC	EQU \$204E	
E000		61	CARRY	EQU \$2062	
E000		62	DAT_CO	EQU \$2066	
E000		63	DAT_CO2	EQU \$2068	
E000		64	DAT_HC	EQU \$206A	
E000		65	COPE	EQU \$206C	
E000		66	CORF	EQU \$206E	
E000		67	XCO_2	EQU \$2070	
E000		68	XCO22	EQU \$2072	
E000		69	CO2RE	EQU \$2074	
E000		70	CO2RF	EQU \$2076	
E000		71	XHC1	EQU \$2078	
E000		72	HCR	EQU \$207A	
E000		73	UNO	EQU \$207C	
E000		74	DOS	EQU \$207E	
E000		75	TRES	EQU \$2080	
E000		76	CUATRO	EQU \$2082	
E000		77	DATO	EQU \$C000	
E000		78	REG	EQU \$C001	
E000	[03]	79	INICIO	LDS #\$F8	;SE INSERTAN VALORES
E003	[04]	80	CLEANRAM	LDY \$\$2000	IGUAL A CERO EN LAS
E007	[02]	81	CLEAN	LDAA #\$00	;LOCALIDADES DE
E009	[05]	82		STAA \$00,Y	MEMORIA A UTILIZAR
E00C	[04]	83		INY	
E00E	[05]	84		CPY \$\$2090	
E012	[03]	85		BLS CLEAN	
E014	[02]	86	DISINI	LDAA #\$00	;PROGRAMACION DEL LCD
E016	[02]	87		LDAB #\$38	PARA SER UTILIZADC
E018	[06]	88		JSR bf	;EN MODO CARACTER Y
E01B	[02]	89		LDAA #\$01	CON LAS ESPECIFICACIONES
E01D	[02]	90		LDAB #\$A6	;DESEADAS
E01F	[06]	91		JSR bf	
E022	[02]	92		LDAA #\$02	
E024	[02]	93		LDAB #\$22	
E026	[06]	94		JSR bf	
E029	[02]	95		LDAA #\$03	
E02B	[02]	96		LDAB #\$3F	
E02D	[06]	97		JSR bf	
E030	[02]	98		LDAA #\$04	
E032	[02]	99		LDAB #\$02	
E034	[06]	100		JSR bf	
E037	[02]	101		LDAA #\$08	
E039	[02]	102		LDAB #\$00	
E03B	[06]	103		JSR bf	
E03E	[02]	104		LDAA #\$09	
E040	[02]	105		LDAB #\$00	
E042	[06]	106		JSR bf	
E045	[02]	107		LDAA #\$0A	
E047	[02]	108		LDAB #\$00	
E049	[06]	109		JSR bf	

E04C [02] 860B	110	LDAA #\$0B	
E04E [02] C600	111	LDAB #\$00	
E050 [06] BDE18D	112	JSR bf	
E053 [03] CE01D4	113	LDX #\$01D4	
E056 [02] 860C	114 LIMPIO	LDAA #\$0C	;SE ESCRIBEN ESPACIOS
			EN BLANCO EN TODA LA
E058 [02] C6FE	115	LDAB #\$FE	;LA PANTALLA, CON EL
			FIN DE ELIMINAR CUALQUIER
E05A [06] BDE18D	116	JSR bf	;CARACTER NO DESEADO
E05D [03] 09	117	DEX	
E05E [03] 26F6	118	ENE LIMPIO	
E060 [02] 860A	119	LDAA #\$0A	;ESCRITURA DE LA
			CARATULA DE LA PANTALLA PARA
			;MOSTRAR LOS RESULTADOS
E062 [02] C600	120	LDAB #\$00	
E064 [06] BDE18D	121	JSR bf	
E067 [02] 860B	122	LDAA #\$0B	
E069 [02] C600	123	LDAB #\$00	
E06B [06] BDE18D	124	JSR bf	
E06E [02] 860C	125	LDAA #\$0C	
E070 [02] C643	126	LDAB #\$43	
E072 [06] BDE18D	127	JSR bf	
E075 [02] 860C	128	LDAA #\$0C	
E077 [02] C64F	129	LDAB #\$4F	
E079 [06] BDE18D	130	JSR bf	
E07C [02] 860C	131	LDAA #\$0C	
E07E [02] C64E	132	LDAB #\$4E	
E080 [06] BDE18D	133	JSR bf	
E083 [02] 860C	134	LDAA #\$0C	
E085 [02] C643	135	LDAB #\$43	
E087 [06] BDE18D	136	JSR bf	
E08A [02] 860C	137	LDAA #\$0C	
E08C [02] C645	138	LDAB #\$45	
E08E [06] BDE18D	139	JSR bf	
E091 [02] 860C	140	LDAA #\$0C	
E093 [02] C64E	141	LDAB #\$4E	
E095 [06] BDE18D	142	JSR bf	
E098 [02] 860C	143	LDAA #\$0C	
E09A [02] C654	144	LDAB #\$54	
E09C [06] BDE18D	145	JSR bf	
E09F [02] 860C	146	LDAA #\$0C	
E0A1 [02] C652	147	LDAB #\$52	
E0A3 [06] BDE18D	148	JSR bf	
E0A6 [02] 860C	149	LDAA #\$0C	
E0A8 [02] C641	150	LDAB #\$41	
E0AA [06] BDE18D	151	JSR bf	
E0AD [02] 860C	152	LDAA #\$0C	
E0AF [02] C643	153	LDAB #\$43	
E0B1 [06] BDE18D	154	JSR bf	
E0B4 [02] 860C	155	LDAA #\$0C	
E0B6 [02] C649	156	LDAB #\$49	
E0B8 [06] BDE18D	157	JSR bf	
E0BB [02] 860C	158	LDAA #\$0C	
E0BD [02] C64F	159	LDAB #\$4F	
E0BF [06] BDE18D	160	JSR bf	
E0C2 [02] 860C	161	LDAA #\$0C	
E0C4 [02] C64E	162	LDAB #\$4E	
E0C6 [06] BDE18D	163	JSR bf	
E0C9 [02] 860C	164	LDAA #\$0C	

DATA 1000 000 0000
 0000 00 00 00000000

DESS.ASM

Assembled with IASM 04/01/1996 13:30 PAGE 4

E0CB [02] C6FE	165	LDAB #\$FE
E0CD [06] BDE18D	166	JSR bf
E0D0 [02] 860C	167	LDAA #90C
E0D2 [02] C644	168	LDAB #\$44
E0D4 [06] BDE18D	169	JSR bf
E0D7 [02] 860C	170	LDAA #90C
E0D9 [02] C645	171	LDAB #\$45
E0DB [06] BDE18D	172	JSR bf
E0DE [02] 860C	173	LDAA #90C
E0E0 [02] C6FE	174	LDAB #\$FE
E0E2 [06] BDE18D	175	JSR bf
E0E5 [02] 860C	176	LDAA #90C
E0E7 [02] C647	177	LDAB #\$47
E0E9 [06] BDE18D	178	JSR bf
E0EC [02] 860C	179	LDAA #90C
E0EE [02] C641	180	LDAB #\$41
E0F0 [06] BDE18D	181	JSR bf
E0F3 [02] 860C	182	LDAA #90C
E0F5 [02] C653	183	LDAB #\$53
E0F7 [06] BDE18D	184	JSR bf
E0FA [02] 860C	185	LDAA #90C
E0FC [02] C645	186	LDAB #\$45
E0FE [06] BDE18D	187	JSR bf
E101 [02] 860C	188	LDAA #90C
E103 [02] C653	189	LDAB #\$53
E105 [06] BDE18D	190	JSR bf
E108 [02] 860C	191	LDAA #90C
E10A [02] C63A	192	LDAB #\$3A
E10C [06] BDE18D	193	JSR bf
E10F [02] 860A	194	LDAA #90A
E111 [02] C64E	195	LDAB #\$4e
E113 [06] BDE18D	196	JSR bf
E116 [02] 860B	197	LDAA #90B
E118 [02] C600	198	LDAB #\$00
E11A [06] BDE18D	199	JSR bf
E11D [02] 860C	200	LDAA #90C
E11F [02] C648	201	LDAB #\$48
E121 [06] BDE18D	202	JSR bf
E124 [02] 860C	203	LDAA #90c
E126 [02] C643	204	LDAB #\$43
E128 [06] BDE18D	205	JSR bf
E12B [02] 860C	206	LDAA #90C
E12D [02] C63A	207	LDAB #\$3a
E12F [06] BDE18D	208	JSR bf
E132 [02] 860A	209	LDAA #90A
E134 [02] C696	210	LDAB #\$96
E136 [06] BDE18D	211	JSR bf
E139 [02] 860B	212	LDAA #90B
E13B [02] C600	213	LDAB #\$00
E13D [06] BDE18D	214	JSR bf
E140 [02] 860C	215	LDAA #90C
E142 [02] C643	216	LDAB #\$43
E144 [06] BDE18D	217	JSR bf
E147 [02] 860C	218	LDAA #90C
E149 [02] C64F	219	LDAB #\$4F
E14B [06] BDE18D	220	JSR bf
E14E [02] 860C	221	LDAA #90C
E150 [02] C63A	222	LDAB #\$3A

E152 [06]	BDE18D	223		JSR bf	
E155 [02]	860A	224		LDAA #\$0A	
E157 [02]	C6DD	225		LDAB #\$DD	
E159 [06]	BDE18D	226		JSR bf	
E15C [02]	860B	227		LDAA #\$0B	
E15E [02]	C600	228		LDAB #\$00	
E160 [06]	BDE18D	229		JSR bf	
E163 [02]	860C	230		LDAA #\$0C	
E165 [02]	C643	231		LDAB #\$43	
E167 [06]	BDE18D	232		JSR bf	
E16A [02]	860C	233		LDAA #\$0C	
E16C [02]	C64F	234		LDAB #\$4F	
E16E [06]	BDE18D	235		JSR bf	
E171 [02]	860C	236		LDAA #\$0C	
E173 [02]	C632	237		LDAB #\$32	
E175 [06]	BDE18D	238		JSR bf	
E178 [02]	860C	239		LDAA #\$0C	
E17A [02]	C63A	240		LDAB #\$3A	
E17C [06]	BDE18D	241		JSR bf	
E17F [02]	8680	242		LDAA #\$80	
E181 [04]	B71039	243		STAA OPTION	
E184 [03]	CE0035	244		LDX #\$35	
E187 [03]	09	245	RELAY	DEX	
E188 [03]	26FD	246		BNE RELAY	
E18A [03]	7EE19F	247		JMP CONV	
E18D [04]	B7C001	248	bf	STAA REG	;RUTINA PARA PREPARAR LOS RESULTADOS OBTENIDOS ;DE LAS MEDICIONES ANTES DE SER ESCRITOS
E190 [04]	F7C000	249		STAB DATO	
E193 [03]	36	250		PSHA	
E194 [04]	B6C001	251	flag	LDAA REG	;RUTINA PARA LA LECTURA DE LA BANDERA DE FIN ;DE TRANSMISION DE DATOS AL LCD
E197 [02]	8480	252		ANDA #\$80	
E199 [02]	8180	253		CMPA #\$80	
E19B [03]	27F7	254		BEQ flag	
E19D [04]	32	255		PULA	
E19E [05]	39	256		RTS	;FIN DISPLAY ;RUTINA DE LAS CONVERSIONES ANALOGICAS ;DIGITAL (CUATRO CONVERSIONES POR PULSA)
E19F [02]	4F	257	CONV	CLRA	
E1A0 [03]	CE2000	258		LDX #\$2000	
E1A3 [02]	8610	259	SIGUE	LDAA #\$10	
E1A5 [04]	B71030	260		STAA ADCTL	
E1A8 [06]	8D23	261		BSR CCF	
E1AA [04]	F61031	262		LDAB ADRI	
E1AD [04]	E700	263		STAB \$0000,X	
E1AF [03]	08	264		INX	
E1B0 [03]	08	265		INX	
E1B1 [04]	F61032	266		LDAB ADR2	
E1B4 [04]	E700	267		STAB \$0000,X	
E1B6 [03]	08	268		INX	
E1B7 [03]	08	269		INX	
E1B8 [04]	F61033	270		LDAB ADR3	
E1BB [04]	E700	271		STAB \$0000,X	
E1BD [03]	08	272		INX	
E1BE [03]	08	273		INX	
E1BF [04]	F61034	274		LDAB ADR4	

E1C2 [04]	E700	275	STAB \$0000,X	
E1C4 [03]	08	276	INX	
E1C5 [03]	08	277	INX	
E1C6 [04]	8C2040	278	CPX #\$2040	
E1C9 [03]	270A	279	BEQ PAZON	
E1CB [03]	20D6	280	ERA SIGUE	
E1CD [04]	B61030	281	LDAA ADCTL	;VERIFICACION DE LA
				BANDERA DE FIN DE
E1D0 [02]	8480	282	ANDA #\$80	;LA CONVERSION
				ANALOGICO-DIGITAL
E1D2 [03]	27F9	283	BEQ CCF	
E1D4 [05]	39	284	RTS	
E1D5 [04]	18CE2000	285	LDY #\$2000	;ALMACENA LOS DATOS
				PROMEDIO DE CADA VARIABLE
E1D9 [06]	8D4F	286	BSR SUMA	
E1DB [05]	FD2040	287	STD COP	
E1DE [04]	18CE2002	288	LDY #\$2002	
E1E2 [06]	8D46	289	BSR SUMA	
E1E4 [05]	FD2042	290	STD VREFP	
E1E7 [04]	18CE2004	291	LDY #\$2004	
E1EB [06]	8D3D	292	BSR SUMA	
E1ED [05]	FD2044	293	STD CO_P	
E1F0 [04]	18CE2006	294	LDY #\$2006	
E1F4 [06]	8D34	295	BSR SUMA	
E1F6 [05]	FD2046	296	STD HCP	
E1F9 [05]	FC2040	297	LDD COP	
E1FC [05]	FE2042	298	LDX VREFP	
E1FF [41]	03	299	FDIV	
E200 [05]	FF2048	300	STX DATO_CO	
E203 [05]	FC2044	301	LDD CO_P	
E206 [05]	FE2042	302	LDX VREFP	
E209 [41]	03	303	FDIV	
E20A [05]	FF204A	304	STX DATO_CO2	
E20D [05]	FC2046	305	LDD HCP	
E210 [05]	FE2042	306	LDX VREFP	
E213 [02]	0A	307	CLV	
E214 [41]	03	308	FDIV	
E215 [03]	2906	309	BVS ENTERA	
E217 [05]	FF204C	310	STX DATO_HC	
E21A [03]	7EE246	311	JMP YCO	
E21D [05]	FC2046	312	LDD HCP	
E220 [05]	FE2042	313	LDX VREFP	
E223 [41]	02	314	IDIV	
E224 [05]	FF204E	315	STX ENTEROHC	
E227 [03]	7EE210	316	jmp DIVHC	
E22A [06]	18EC00	317	LDD \$0000,Y	;CALCULA EL PROMEDIO
				DE OCHO MEDICIONES DE
				;UNA MISMA VARIABLE
E22D [05]	18E308	318	ADDD \$0008,Y	
E230 [05]	18E310	319	ADDD \$0010,Y	
E233 [05]	18E318	320	ADDD \$0018,Y	
E236 [05]	18E320	321	ADDD \$0020,Y	
E239 [05]	18E328	322	ADDD \$0028,Y	
E23C [05]	18E330	323	ADDD \$0030,Y	
E23F [05]	18E338	324	ADDD \$0038,Y	
E242 [03]	04	325	LSRD	
E243 [03]	04	326	LSRD	
E244 [03]	04	327	LSRD	
E245 [05]	39	328	RTS	

E246 [05] FC2048	329	YCO	LDD DATO_CO	;RUTINA PARA CALCULAR
E249 [05] FD2058	330		STD \$2058	EL RESULTADO PARA CO
				;A TRAVES DE LA
				ECUACION $Y=5.59+53.55X-155.06X^2$
E24C [05] FD2060	331		STD \$2060	
E24F [06] BDE32F	332		JSR MULT	
E252 [05] FD2058	333		STD \$2058	
E255 [03] CCC67B	334		LDD #CC67B	;COEFICIENTE TERCER TERMINO
E258 [05] FD2060	335		STD \$2060	
E25B [06] BDE32F	336		JSR MULT	
E25E [05] FD2070	337		STD XCO_2	;DATO DEL TERMINO TRES
E261 [05] FC2048	338		LDD DATO_CO	
E264 [05] FD2058	339		STD \$2058	
E267 [03] CC448B	340		LDD #448B	;COEFICIENTE SEGUNDO TERMINO
E26A [05] FD2060	341		STD \$2060	
E26D [06] BDE32F	342		JSR MULT	
E270 [04] C30729	343		ADDD #30729	;COEFICIENTE PRIMER TERMINO
E273 [06] B32070	344		SUBD XCO_2	
E276 [05] FD2066	345		STD DAT_CO	
E279 [05] FD2058	346		STD \$2058	
E27C [03] CC00C8	347		LDD #00C8	
E27F [05] FD2060	348		STD \$2060	
E282 [06] BDE32F	349		JSR MULT	
E285 [05] FD206C	350		STD CORE	;RESULTADO ENTERO DE CO
E288 [06] BDE3BF	351		JSR CHDM	
E28B [04] F7206C	352		STAB CORE	;RESULTADO ENTERO
				DECIMAL DE
E28E [04] F62051	353		LDAB \$2051	
E291 [04] B62063	354		LDAA \$2063	
E294 [05] FD2058	355		STD \$2058	
E297 [03] CC0064	356		LDD #0064	
E29A [06] BDE32F	357		JSR MULT	
E29D [05] FD206E	358		STD CORF	;RESULTADO FRACCIONARIO
E2A0 [06] BDE3BF	359		JSR CHDM	
E2A3 [04] F7206E	360		STAB CORF	;RESULTADO FRACCIONARIO
				DECIMAL DE
	361			
E2A6 [05] FC204A	362	YCO2	LDD DATO_CO2	;RUTINA PARA CALCULAR
E2A9 [05] FD2058	363		STD \$2058	EL RESULTADO PARA
				;A TRAVES DE LA
				ECUACION $Y=13.7+327.08X-956.7X^2$
E2AC [05] FD2060	364		STD \$2060	
E2AF [06] BDE32F	365		JSR MULT	
E2B2 [05] FD2058	366		STD \$2058	
E2B5 [03] CCF4EE	367		LDD #F4EE	;COEFICIENTE TERCER TERMINO
E2B8 [05] FD2060	368		STD \$2060	
E2BB [06] 8D72	369		BSR MULT	
E2BD [05] FD2072	370		STD XCO22	;DATO DEL TERMINO TRES
E2C0 [05] FC204A	371		LDD DATO_CO2	
E2C3 [05] FD2058	372		STD \$2058	
E2C6 [03] CC53BB	373		LDD #53BB	;COEFICIENTE SEGUNDO TERMINO
E2C9 [05] FD2060	374		STD \$2060	

E2CC [06]	8D61	375	BSR MULT	
E2CE [04]	C30382	376	ADDD #0382	;COEFICIENTE PRIMER TERMINO
E2D1 [06]	B32072	377	SUBD XCO22	
E2D4 [05]	FD2068	378	STD DAT_CO2	
E2D7 [05]	FD2058	379	STD \$2058	
E2DA [03]	CC03E8	380	LDD #03E8	
E2DD [06]	8D50	381	BSR MULT	
E2DF [05]	FD2074	382	STD CO2RE	;RESULTADO ENTERO DE CO2
E2E2 [06]	BDE3BF	383	JSR CHDM	
E2E5 [04]	F72074	384	STAB CO2RE	;RESULTADO ENTERO
				DECIMAL DE CC
E2E8 [04]	B62063	385	LDAA \$2063	
E2EB [04]	F62051	386	LDAB \$2051	
E2EE [05]	FD2058	387	STD \$2058	
E2F1 [03]	CC0064	388	LDD #0064	
E2F4 [05]	FD2060	389	STD \$2060	
E2F7 [06]	8D36	390	BSR MULT	
E2F9 [05]	FD2076	391	STD CO2RF	;RESULTADO FRACCIONARIO DE C
E2FC [06]	BDE3BF	392	JSR CHDM	
E2FF [04]	F62076	393	LDAB CO2RF	;RESULTADO FRACCIONARIO
				DECIMAL DE CO2
		394		
E302 [05]	FC204C	395	YHC	
			LDD DATO_HC	;CALCULO DEL RESULTADO
				PARA HC A TRAVES DE LA
E305 [05]	FD2058	396	STD \$2058	;ECUACION Y=6864.49-68 38.31
E308 [03]	CCFA16	397	LDD #FA16	;COEFICIENTE SEGUNDO TERMINO
E30B [06]	8D22	398	BSR MULT	
E30D [05]	FD2078	399	STD XHC1	;DATO DEL SEGUNDO TERMINO
E310 [03]	CCFB0B	400	LDD #FB0B	;COEFICIENTE PRIMER TERMINO
E313 [06]	B32078	401	SUBD XHC1	
E316 [05]	FD206A	402	STD DAT_HC	
E319 [05]	FD2058	403	STD \$2058	
E31C [03]	CC1B58	404	LDD #1B58	
E31F [05]	FD2060	405	STD \$2060	
E322 [06]	8D0B	406	BSR MULT	
E324 [05]	FD207A	407	STD HCR	;RESULTADO DE HC
E327 [06]	8D75	408	BSR CHD	
E329 [05]	FD207A	409	STD HCR	;RESULTADO DECIMAL DE HC
E32C [03]	7EE3E2	410	JMP DESDATOS	
E32F [04]	B62061	411	LDAA \$2061	
E332 [04]	F62059	412	LDAB \$2059	
E335 [10]	3D	413	MUL	
E336 [05]	FD2050	414	STD \$2050	;DB
E339 [04]	B62061	415	LDAA \$2061	
E33C [04]	F62058	416	LDAB \$2058	
E33F [10]	3D	417	MUL	
E340 [05]	FD2052	418	STD \$2052	;DA
E343 [04]	B62060	419	LDAA \$2060	
E346 [04]	F62059	420	LDAB \$2059	
E349 [10]	3D	421	MUL	

E34A [05]	FD2054	422		STD \$2054	;CB
E34D [04]	B62060	423		LDAA \$2060	
E350 [04]	F62058	424		LDAB \$2058	
E353 [10]	3D	425		MUL	
E354 [05]	FD2056	426		STD \$2056	;CA
E357 [02]	8600	427	SUMA_MUL	LDAA #00	
E359 [04]	B72062	428		STAA CARRY	
E35C [04]	B62050	429		LDAA \$2050	
E35F [04]	BB2053	430		ADDA \$2053	
E362 [03]	2404	431		BCC SUMAR	
E364 [06]	7C2062	432		INC CARRY	
E367 [02]	0C	433		CLC	
E368 [04]	BB2055	434	SUMAR	ADDA \$2055	
E36B [04]	B72063	435		STAA \$2063	
E36E [03]	2404	436		BCC SUMAR2	
E370 [06]	7C2062	437		INC CARRY	
E373 [02]	0C	438		CLC	
E374 [04]	F62062	439	SUMAR2	LDAB CARRY	
E377 [02]	8600	440		LDAA #00	
E379 [04]	B72062	441		STAA CARRY	
E37C [04]	FB2052	442		ADDB \$2052	
E37F [03]	2404	443		BCC SUMAR3	
E381 [06]	7C2062	444		INC CARRY	
E384 [02]	0C	445		CLC	
E385 [04]	FB2054	446	SUMAR3	ADDB \$2054	
E388 [03]	2404	447		BCC SUMAR4	
E38A [06]	7C2062	448		INC CARRY	
E38D [02]	0C	449		CLC	
E38E [04]	FB2057	450	SUMAR4	ADDB \$2057	
E391 [03]	2404	451		BCC SUMAR5	
E393 [06]	7C2062	452		INC CARRY	
E396 [02]	0C	453		CLC	
E397 [04]	B62056	454	SUMAR5	LDAA \$2056	
E39A [04]	BB2062	455		ADDA CARRY	;A ES MSB YBA ES LSB
E39D [05]	39	456		RTS	
E39E [03]	CE2710	457	CHD	LDX #\$2710	;RUTINA DE CONVERSION HEXADECIMAL A DECIMAL
E3A1 [41]	02	458		IDIV	
E3A2 [05]	FF207C	459		STX UNO	
E3A5 [03]	CE03E8	460		LDX #\$03E8	
E3A8 [41]	02	461		IDIV	
E3A9 [05]	FF207E	462		STX DOS	
E3AC [06]	78207E	463		LSL DOS	
E3AF [06]	78207E	464		LSL DOS	
E3B2 [06]	78207E	465		LSL DOS	
E3B5 [06]	78207E	466		LSL DOS	
E3B8 [03]	CE0064	467		LDX #\$0064	
E3BB [41]	02	468		IDIV	
E3BC [05]	FF2080	469		STX TRES	
E3BF [03]	CE000A	470	CHDM	LDX #\$000A	
E3C2 [41]	02	471		IDIV	
E3C3 [05]	FF2082	472		STX CUATRO	
E3C6 [06]	782082	473		LSL CUATRO	
E3C9 [06]	782082	474		LSL CUATRO	
E3CC [06]	782082	475		LSL CUATRO	
E3CF [06]	782082	476		LSL CUATRO	
E3D2 [05]	FF2084	477		STX \$2084	
E3D5 [04]	B6207F	478		LDAA \$207F	

E3D8 [04]	BB2081	479	ADDA \$2081	
E3DB [04]	F62083	480	LDAB \$2083	
E3DE [04]	FB2085	481	ADDB \$2085	
E3E1 [12]	3B	482	RTI	
		483		
E3E2 [02]	860C	484	LDAA #\$0C	;DESPLIEGUE DE LAS MEDICIONES
E3E4 [02]	C620	485	LDAB #\$20	
E3E6 [06]	BDE18D	486	JSR bf	
E3E9 [02]	860C	487	LDAA #\$0C	
E3EB [04]	F62074	488	LDAB CO2RE	
E3EE [02]	54	489	LSRB	
E3EF [02]	54	490	LSRB	
E3F0 [02]	54	491	LSRB	
E3F1 [02]	54	492	LSRB	
E3F2 [02]	CA30	493	ORAB #\$30	
E3F4 [06]	BDE18D	494	JSR bf	
E3F7 [02]	860C	495	LDAA #\$0C	
E3F9 [04]	F62074	496	LDAB CO2RE	
E3FC [02]	C40F	497	ANDB #\$0F	
E3FE [02]	CA30	498	ORAB #\$30	
E400 [06]	BDE18D	499	JSR bf	
E403 [02]	860C	500	LDAA #\$0C	
E405 [02]	C62E	501	LDAB #\$2E	
E407 [06]	BDE18D	502	JSR bf	
E40A [02]	860C	503	LDAA #\$0C	
E40C [04]	F62076	504	LDAB CO2RF	
E40F [02]	54	505	LSRB	
E410 [02]	54	506	LSRB	
E411 [02]	54	507	LSRB	
E412 [02]	54	508	LSRB	
E413 [02]	CA30	509	ORAB #\$30	
E415 [06]	BDE18D	510	JSR BF	
E418 [02]	860C	511	LDAA #\$0C	
E41A [04]	F62076	512	LDAB CO2RF	
E41D [02]	C40F	513	ANDB #\$0F	
E41F [02]	CA30	514	ORAB #\$30	
E421 [06]	BDE18D	515	JSR bf	
E424 [02]	860C	516	LDAA #\$0C	
E426 [02]	C625	517	LDAB #\$25	
E428 [06]	BDE18D	518	JSR bf	
E42B [02]	860A	519	LDAA #\$0A	
E42D [02]	C652	520	LDAB #\$52	
E42F [06]	BDE18D	521	JSR bf	
E432 [02]	860B	522	LDAA #\$0B	
E434 [02]	C600	523	LDAB #\$00	
E436 [06]	BDE18D	524	JSR bf	
E439 [02]	860C	525	LDAA #\$0C	
E43B [04]	F6207A	526	LDAB HCR	
E43E [02]	54	527	LSRB	
E43F [02]	54	528	LSRB	
E440 [02]	54	529	LSRB	
E441 [02]	54	530	LSRB	
E442 [02]	CA30	531	ORAB #\$30	
E444 [06]	BDE18D	532	JSR bf	
E447 [02]	860C	533	LDAA #\$0C	
E449 [04]	F6207A	534	LDAB HCR	
E44C [02]	C40F	535	ANDB #\$0F	

E44E [02]	CA30	536	ORAB #30
E450 [06]	BDE18D	537	JSR bf
E453 [02]	860C	538	LDAA #0C
E455 [04]	F6207B	539	LDAB \$207B
E458 [02]	54	540	LSPB
E459 [02]	54	541	LSPB
E45A [02]	54	542	LSPB
E45B [02]	54	543	LSRB
E45C [02]	CA30	544	ORAB #30
E45E [06]	BDE18D	545	JSR BF
E461 [02]	860C	546	LDAA #0C
E463 [04]	F6207B	547	LDAB \$207B
E466 [02]	840F	548	ANDA #0F
E468 [02]	CA30	549	ORAB #30
E46A [06]	BDE18D	550	JSR BF
E46D [02]	860C	551	LDAA #0C
E46F [02]	C6F0	552	LDAB #F0
E471 [06]	BDE18D	553	JSR bf
E474 [02]	860C	554	LDAA #0C
E476 [02]	C6F0	555	LDAB #F0
E478 [06]	BDE18D	556	JSR bf
E47B [02]	860C	557	LDAA #0C
E47D [02]	C66D	558	LDAB #\$6D
E47F [06]	BDE18D	559	JSR bf
E482 [02]	860A	560	LDAA #0A
E484 [02]	C69A	561	LDAB #\$9A
E486 [06]	BDE18D	562	JSR bf
E489 [02]	860B	563	LDAA #0B
E48B [02]	C600	564	LDAB #00
E48D [06]	BDE18D	565	JSR bf
E490 [02]	860C	566	LDAA #0C
E492 [04]	F6206C	567	LDAB CORE
E495 [02]	54	568	LSRB
E496 [02]	54	569	LSRB
E497 [02]	54	570	LSRB
E498 [02]	54	571	LSRB
E499 [02]	CA30	572	ORAB #30
E49B [06]	BDE18D	573	JSR bf
E49E [02]	860C	574	LDAA #0C
E4A0 [04]	F6206C	575	LDAB CORE
E4A3 [02]	C40F	576	ANDB #0F
E4A5 [02]	CA30	577	ORAB #30
E4A7 [06]	BDE18D	578	JSR bf
E4AA [02]	860C	579	LDAA #0C
E4AC [02]	C62E	580	LDAB #2E
E4AE [06]	BDE18D	581	JSR bf
E4B1 [02]	860C	582	LDAA #0C
E4B3 [04]	F6206E	583	LDAB CORE
E4B6 [02]	54	584	LSRB
E4B7 [02]	54	585	LSRB
E4B8 [02]	54	586	LSRB
E4B9 [02]	54	587	LSRB
E4BA [02]	CA30	588	ORAB #30
E4BC [06]	BDE18D	589	JSR BF
E4BF [02]	860C	590	LDAA #0C
E4C1 [04]	F6206E	591	LDAB CORF
E4C4 [02]	C40F	592	ANDB #0F
E4C6 [02]	CA30	593	ORAB #30

DES5.ASM

Assembled with IASM 04/01/1996 23:39 PAGE 12

E4C8 [06]	BDE18D	594	JSR BF	
E4CB [02]	860C	595	LEAA #30C	
E4CD [02]	C625	596	LDAB #325	
E4CF [06]	BDE18D	597	JSR bf	
E4D2 [03]	CE000F	598	LDX #3000F	
E4D5 [04]	18CEFFFF	599	XX	
E4D9 [04]	1809	600	RET	
E4DB [03]	26FC	601	BNE RET	
E4DD [03]	09	602	DEX	
E4DE [03]	26F5	603	BNE XX	
E4E0 [03]	7EE000	604	JMP INICIO	
E4E3		605	END	
606				
607				

;RUTINA QUE GENERA UN
RETARDO DE 3 SEG.

Symbol Table

ADCTL	1030
ADR1	1031
ADR2	1032
ADR3	1033
ADR4	1034
BF	E18D
CARRY	2062
CCF	E1CD
CHD	E39E
CHDM	E3BF
CLEAN	E007
CLEANRAM	E003
CO0	2000
CO1	2008
CO2	2010
CO2RE	2074
CO2RF	2076
CO3	2018
CO4	2020
CO5	2028
CO6	2030
CO7	2038
CONV	E19F
COP	2040
CORE	206C
CORF	206E
CO_0	2004
CO_1	200C
CO_2	2014
CO_3	201C
CO_4	2024
CO_5	202C
CO_6	2034
CO_7	203C
CO_P	2044
CUATRO	2082
DATO	C000
DATO_CO	2048
DATO_CO2	204A
DATO_HC	204C

DAT_CO	2066
DAT_CO2	2068
DAT_HC	206A
DES DATOS	E3E2
DISINI	E014
DIVHC	E210
DOS	207E
ENTERA	E21D
ENTEROHC	204E
FLAG	E194
HCO	2006
HC1	200E
HC2	2016
HC3	201E
HC4	2026
HC5	202E
HC6	2036
HC7	203E
HCP	2046
HCR	207A
INICIO	E000
LIMPIO	E056
MULT	E32F
OPTION	1039
PORTA	1000
RAZON	E1D5
REG	C001
RELAY	E187
RET	E4D9
SIGUE	E1A3
START	0000
SUMA	E22A
SUMAR	E368
SUMAR2	E374
SUMAR3	E385
SUMAR4	E38E
SUMAR5	E397
SUMA_MUL	E357
TRES	2080
UNO	207C
VREF0	2002
VREF1	200A
VREF2	2012
VREF3	201A
VREF4	2022
VREF5	202A
VREF6	2032
VREF7	203A
VREFP	2042
XCO22	2072
XCO_2	2070
XHC1	2078
XX	E4D5
YCO	E246
YCO2	E2A6
YHC	E302