



138  
24

UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

AUTOMATIZACION DE UNA PRUEBA DE  
BIODEGRADABILIDAD ANAEROBIA

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
P R E S E N T A  
*Celia Angelina Sánchez Pérez*

*Director de Tesis:*

M. I. LAURO SANTIAGO CRUZ

*Codirector de Tesis:*

DR. GERMAN BUITRON MENDEZ



México, D. F.

1998

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

## **Dedicatoria**

**A la memoria de mi padre, porque me hubiera gustado que viera este trabajo.**

**A mi madre, que ha sido un gran apoyo durante toda mi vida.**

**A Martín, mi compañero que siempre está a mi lado.**

**A mis hermanos con quienes he sufrido las inclemencias de la vida.**

**A Lauro, mi asesor que siempre ha creído en mí.**

**A Germán por apoyar este proyecto.**

**A Arturo y Alejandro por su amistad y apoyo.**

## INDICE

### Introducción

#### 1. Biodegradación anaerobia

1.1. Objetivos de la biodegradación anaerobia .....	1
1.2. Descripción general del proceso .....	2
1.2.1. Proceso de biodegradación anaerobia .....	2
1.2.2. Efecto de factores ambientales .....	5
1.3. Composición del biogás producto de la biodegradación anaerobia .....	6
1.4. Pruebas para determinar la biodegradabilidad anaerobia .....	6

#### 2. Conceptos básicos

2.1 Sistemas de adquisición de datos .....	13
2.2 Medición de variables .....	15
2.2.1 Transductores de presión .....	15
2.2.2 Transductores de temperatura .....	17
2.2.3 Método de cromatografía para la detección de gases .....	19
2.3 Muestreo .....	21
2.4 Conversión .....	22
2.4.1 Convertidor analógico digital de aproximaciones sucesivas .....	23
2.5 Transmisión .....	24
2.5.1 Bus de expansión .....	26

#### 3. Descripción general del sistema

3.1 Descripción del sistema automatizado .....	26
3.2 Hardware del sistema .....	29
3.2.1 Sistema de adquisición .....	29
3.2.1.1 Adquisición de datos .....	29

3.2.1.2	Sensor y circuito acondicionador de presión .....	32
3.2.1.3	Sensor y circuito acondicionador de temperatura .....	32
3.2.1.4	Sensor de composición de gases .....	33
3.2.2	Sistema de control .....	33
3.2.2.1	Etapa de válvulas .....	34
3.2.2.2	Etapa de inyección automática .....	34
3.2.2.3	Etapa de agitación .....	35
3.2.3	Diagrama general. Eléctrico .....	36
3.3	Etapa de <i>software</i> .....	39
3.3.1	Programa principal .....	39
3.3.2	Rutina de menús .....	40
3.3.3	Rutina de reloj .....	43
3.3.4	Rutina de quehaceres .....	44
3.3.4.1	Calibración del cromatógrafo .....	44
3.3.4.2	Sensado y registro de presión y temperatura .....	45
3.3.4.3	Sensado y registro de composición de biogás .....	46
3.3.4.4	Control de agitación .....	48
3.3.5	Generación de reportes .....	48
<b>4.</b>	<b>Pruebas al sistema</b> .....	<b>51</b>
<b>5.</b>	<b>Resultados y conclusiones</b> .....	<b>55</b>

## **Bibliografía**

**Apéndice A.** Antecedentes matemáticos

**Apéndice B.** Estructura de registros de las funciones de la tarjeta PCL-812

**Apéndice C.** Listado del programa en lenguaje turbo C++

**Apéndice D.** Hojas de especificaciones

## INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se presenta el desarrollo de un prototipo de un modelo automatizado para pruebas de biodegradabilidad anaerobia que se realizan en la Coordinación de Bioprocesos Ambientales del Instituto de Ingeniería de la UNAM. Debido a la necesidad de una mejor regulación de contaminantes en las aguas residuales, incluso por normatividad gubernamental.

Este tipo de pruebas requieren de una buena regulación de las condiciones de operación así como un muestreo continuo. El método tradicional implica trabajo manual repetitivo y excesivo que ocasiona importantes errores en la operación técnica y en la toma de lecturas. De esta manera, surge la necesidad de automatizar este sistema para realizar el monitoreo automático de manera confiable de las variables de interés y de las condiciones de operación.

La metodología propuesta está basada en la medición de presión generada por la producción de biogás durante la biodegradación de la materia orgánica. Adicionalmente la prueba automatizada determina, por cromatografía la composición del biogás ( $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$ ), además de monitorear la temperatura a la que se lleva a cabo la prueba y la regulación de la agitación de 9 botellas simultáneamente. Mediante una computadora personal se realiza la adquisición, registro y visualización de los datos generados en todas las botellas y se establece el vínculo de comunicación con el operador para el seguimiento y control de la prueba.

Este trabajo de tesis presenta primeramente un capítulo explicativo de las pruebas de biodegradabilidad anaerobia, así como una revisión de algunas metodologías desarrolladas para el monitoreo de estas pruebas. El capítulo 2 trata los conceptos básicos de un sistema de adquisición de datos y de los dispositivos sensorés de las señales de interés para este sistema en particular. En el capítulo 3 se hace una descripción detallada del sistema, tanto para la etapa de *hardware* como para la etapa de *software* desarrolladas. El siguiente capítulo correspondiente a las pruebas del sistema, presenta algunas gráficas de resultados obtenidas en las primeras pruebas realizadas con el prototipo ya en funcionamiento y en el capítulo siguiente se comentan los resultados y conclusiones que se desprenden de este trabajo. Finalmente los apéndices contienen la información complementaria de interés.

# **CAPÍTULO 1**

## **BIODEGRADACIÓN ANAEROBIA**

Desde hace ya varias décadas se han venido utilizando procesos biológicos para el tratamiento de aguas residuales de origen doméstico e industrial. En general estos procesos se realizan cuando la materia orgánica contenida en el agua residual es biodegradable, lo que permite explotar la capacidad de un sinnúmero de microorganismos para digerir compuestos orgánicos complejos y transformarlos en moléculas más sencillas.

El tratamiento de aguas de desecho puede realizarse mediante dos procesos: fisicoquímico, aplicado principalmente en aguas que presentan sustancias inorgánicas, y procesos biológicos, en aguas cuyos componentes en su mayoría son materia orgánica biodegradable.

Los procesos biológicos, se dividen en dos tipos cuya diferencia estriba en la vía metabólica de los microorganismos y el tipo de aceptor final de electrones, a saber: procesos aerobios, los cuales requieren de oxígeno; y los procesos anaerobios, que se efectúan en ausencia total de oxígeno. Esta división genera sistemas biológicos muy diferentes entre sí, tanto en su microbiología como en sus aplicaciones, su ingeniería y control.

### 1.1 Objetivos de la biodegradación anaerobia

Los métodos de tratamiento de aguas por vía biológica tienen como propósito la disminución de contaminantes de las aguas de desecho ya sea de uso doméstico o industrial y de esta manera, permitir el reuso del agua y la disminución de contaminantes como:

- materia orgánica biodegradable
- amoníaco
- patógenos
- sólidos suspendidos
- fosfatos

Los métodos empleados deben combinar el tratamiento de aguas con el reuso de subproductos resultado de éstos para fertilización e irrigación, bajos requerimientos de energía, operación y mantenimiento simple, así como pocos requerimientos de espacio.

El proceso de biodegradación anaerobia convierte componentes orgánicos complejos a productos gaseosos principalmente metano ( $\text{CH}_4$ ) y bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y pequeñas cantidades de hidrógeno ( $\text{H}_2$ ) en ausencia de oxígeno.

En ciertos casos, y como medida previa a cualquier estudio más detallado, es necesario determinar la factibilidad de un tratamiento anaerobio. Para este propósito se emplea la prueba de biodegradabilidad anaerobia que permite evaluar de manera sencilla el potencial de degradación de la materia contaminante en un agua residual.

Con esta prueba se puede determinar:

- ◆ la rapidez de reacción (tasa de biodegradabilidad)
- ◆ porcentaje máximo de biodegradabilidad
- ◆ detectar efectos inhibitorios

## 1.2 Descripción general del proceso

### 1.2.1 Proceso de biodegradación anaerobia

La digestión anaerobia es un proceso natural que ocurre cuando compuestos biodegradables son expuestos a la acción biológica en ausencia de oxígeno molecular, siendo convertidos principalmente a metano ( $\text{CH}_4$ ) y bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) (la mezcla de estos compuestos es comúnmente llamada biogás). En el proceso anaerobio se generan tres productos principales:

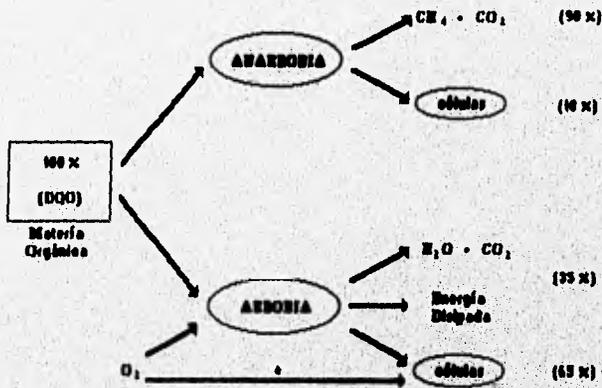
- ◆ biogás
- ◆ efluentes líquidos
- ◆ lodos residuales

La aplicación de la digestión anaerobia y la producción de biogás no constituyen un descubrimiento reciente, ya que en el siglo pasado se empleaban sistemas rústicos como la fosa séptica. En los últimos años, gracias al desarrollo de la tecnología anaerobia, son cada vez más los tipos de aguas residuales susceptibles de ser tratados por medio de esta vía.

Se observa que la energía contenida en la materia orgánica contaminante, medida como demanda química de oxígeno (DQO), es utilizada por los microorganismos y transformada en diversos productos, dependiendo del metabolismo aerobio o anaerobio de la célula. Es así que una bacteria anaerobia utilizará el 10% de la energía obtenida de su alimento o sustrato para funciones de reproducción, creando así nuevas células; el 90% restante lo utilizará para la obtención del gas metano. Por otro lado las bacterias aerobias emplearán, en presencia de oxígeno de un 60% a 65% de la energía del sustrato en la síntesis de nuevas células, mientras la fracción restante es utilizada para llevar a cabo otras funciones metabólicas y disipada en

forma de calor. Las principales características desde el punto de vista energético, se esquematizan en la figura 1.1. Adicionalmente a esto, los procesos anaerobios presentan las siguientes ventajas:

- ♦ bajos requerimientos de nutrientes.
- ♦ soportan altas concentraciones de materia orgánica.
- ♦ la masa celular puede preservar su actividad metabólica por largos períodos aun en ausencia de sustratos.
- ♦ se produce energía en vez de desechos.
- ♦ el proceso puede realizarse a cualquier escala de operación.



\* En caso de contar con digestión aerobia de lodos de purga

Fig.1.1 Diagrama energético de la biodegradación.

### Bioquímica

La degradación de materia orgánica para producir metano se basa en la compleja interacción de cinco grupos diferentes de bacterias que se enuncian a continuación:

- ♦ **Bacterias hidrolíticas y fermentadoras.** Las bacterias hidrolíticas producen las enzimas que se encargan de degradar los polímeros presentes en el agua residual (carbohidratos, proteínas y lípidos) convirtiéndolos a compuestos de

bajo peso molecular como azúcares, aminoácidos, alcoholes, y compuestos aromáticos. Por su parte, las bacterias fermentadoras transforman los azúcares y aminoácidos en ácidos grasos volátiles (acetato, propionato, butirato, valerato), bióxido de carbono e hidrógeno y células.

- Bacterias acetógenas. Transforman los ácidos grasos de cadena corta en acetato, bióxido de carbono e hidrógeno, pero se ven inhibidas por el hidrógeno que ellas mismas producen.
- Bacterias metanógenas acetoclásticas. La función de este grupo bacteriano es convertir el ácido acético en biogás, que está compuesto por metano en mayor proporción y bióxido de carbono.
- Bacterias metanógenas hidrogenófilas. Estas bacterias coexisten con las bacterias acetógenas, catalizan la reacción entre el hidrógeno producido por estas últimas y el bióxido de carbono para dar metano.
- Bacterias sulfatorreductoras. La importancia de este grupo depende de la presencia de sulfatos en el agua residual a tratar. Este grupo se caracteriza esencialmente por su capacidad para reducir los sulfatos a sulfuro de hidrógeno.

En la Figura 1.2. se muestran los principales grupos bacterianos que participan en la degradación anaerobia de la materia orgánica (Saval y Noyola, 1992).

Para que la digestión anaerobia se realice adecuadamente, se debe permitir la óptima actividad de todos los grupos bacterianos involucrados con el fin de que las reacciones ocurran de manera secuencial. Esto significa que el producto de las reacciones efectuadas por un grupo de bacterias, sirve como sustrato para el siguiente grupo especializado, de tal forma que se mantiene un equilibrio entre las velocidades de formación y eliminación de intermediarios evitando así su acumulación.

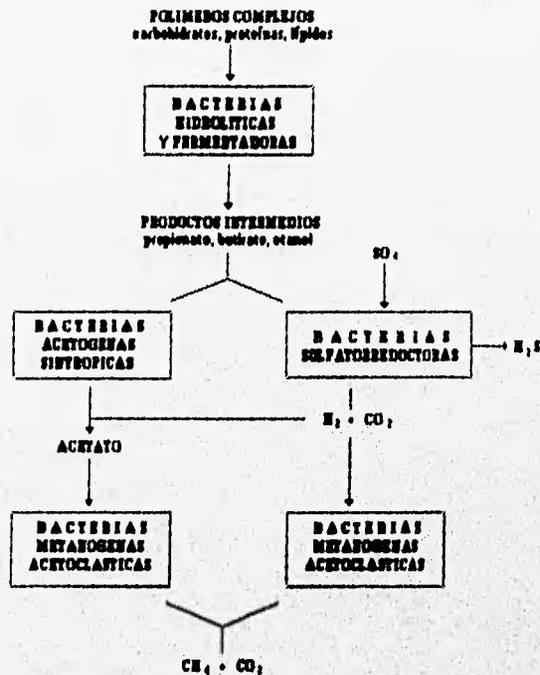


Fig. 1.2 Principales grupos bacterianos en la biodegradación anaerobia.

### 1.2.2 Efecto de factores ambientales

Los factores ambientales que influyen en la metanogénesis son: pH (potencial Hidrógeno), temperatura, nutrientes y concentraciones tóxicas. Estos factores están relacionados con aquellos parámetros cuyo control permite una mayor actividad de la biomasa, teniendo como resultado un alto porcentaje de remoción de la materia orgánica. Estos factores son susceptibles de un control externo en el proceso de digestión anaerobia.

- ♦ pH. El intervalo de pH en el que se realiza la actividad metanogénica es de 6.2 a 7.8, valores fuera de este rango ocasionan inhibiciones en el metabolismo microbiano.
- ♦ Temperatura. La temperatura es un factor ambiental que influye de manera importante en la eficiencia del tratamiento anaerobio. Las bacterias metanógenas son más sensibles a los cambios de temperatura que otros

organismos, disminuciones continuas o prolongadas de temperatura pueden producir una población de bacterias desbalanceada que conduciría a un nivel bajo de pH. La temperatura óptima es de 35°C, aunque en la práctica los procesos anaerobios pueden realizarse a temperatura ambiente.

- Nutrientes. Los niveles de nutrientes deben ser los requeridos por las bacterias metanógenas, ya que son rigurosamente inhibidas por leves deficiencias en nutrientes.
- Compuestos tóxicos. Los componentes tóxicos afectan la digestión reduciendo el metabolismo cuando se presentan en bajas concentraciones, o bien envenenando y matando a los organismos cuando está en altas concentraciones.

### 1.3 Composición del biogás producto de la biodegradación anaerobia

La composición del biogás generado depende del sustrato y de las condiciones de funcionamiento de la prueba (carga, tiempo de residencia). En una primera aproximación se pueden considerar los siguientes valores:

CH<sub>4</sub>: 55 a 75 %

CO<sub>2</sub>: 25 a 40 %

H<sub>2</sub>: 1 a 5 %

N<sub>2</sub>: 2 a 7 %

Otros productos pueden estar igualmente presentes, entre éstos se encuentran H<sub>2</sub>S proveniente del azufre mineral u orgánico, presente en los efluentes brutos y el NH<sub>3</sub> proveniente de las proteínas de la biomasa. Estos constituyentes son los responsables del mal olor característico del biogás (Degrémont, 1989).

### 1.4 Pruebas para determinar la biodegradabilidad anaerobia

Se han desarrollado muchos métodos para medir la actividad metanogénica específica de lodos y para conocer que porcentaje de la materia orgánica de un desecho industrial puede ser degradado a metano y bióxido de carbono por vía anaerobia. A continuación se mencionan algunas de estas técnicas:

**Bioensayo para monitorear el potencial bioquímico de metano (Owen, et al., 1988)**

El muestreo del gas producido durante la incubación se lleva a cabo con una jeringa de vidrio tomándose la lectura por desplazamiento del émbolo (jeringa 5-50 ml de capacidad dependiendo del volumen a muestrear), las lecturas se toman a la temperatura de 35°C y son analizadas por cromatografía de gases.

La medida de biodegradabilidad se lleva a cabo a través del monitoreo de la producción acumulada de metano. Las condiciones de arranque de la prueba no son especificadas en cuanto a las condiciones de la prueba.

**Método experimental para determinar el potencial de biodegradación anaerobia, desarrollado por Shelton y Tiedje (1984)**

El biogás generado ( $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$ ) se monitorea midiendo la presión, con ayuda de un transductor de presión equipado con un multímetro como *display*, reportando la lectura en psi (lb/pulg<sup>2</sup>) y teniendo como límite máximo 8 psi. Se inserta la aguja a través del tapón de hule de las botellas y se mide la respuesta del transductor, la cual está dada en miliohms y cuantificada en volts. Esta respuesta en miliohms se relaciona a los mililitros de gas producido a partir de la construcción de una curva estándar por adición de cantidades conocidas de gas a las botellas de suero mediante una jeringa.

Se cuantifica el metano producido por inyección de un volumen de muestra de 0.3ml de la fase gaseosa a un cromatógrafo de gases equipado con un detector de ionización de flama. La biodegradación de la sustancia se calcula a partir del porcentaje de gas teórico. Este es el primer método propuesto que utiliza un transductor de presión.

**Ensayos anaerobios desarrollada por Field et al. (1988)**

El volumen de metano producido en reactores de pequeño volumen se puede medir por desplazamiento de líquido en una probeta invertida. El biogás es dirigido al sistema de medición en donde el bióxido de carbono contenido en la muestra es absorbido en un medio con pH básico formándose carbonatos y sólo el metano alcanza el espacio libre del recipiente de medición, desplazando un volumen equivalente de líquido.

El metano producido se puede calcular midiendo el volumen o el peso del líquido desplazado. El sistema utilizado en los ensayos anaerobios se muestra en la figura 1.3.

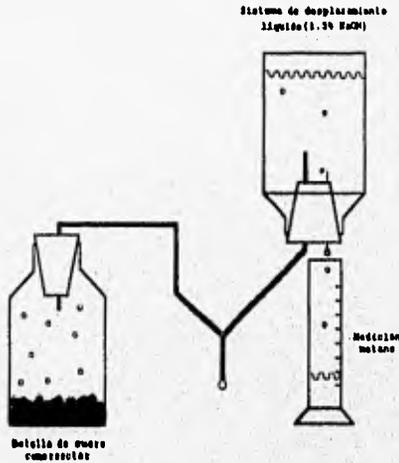


Fig. 1.3 Trampa de metano.

#### **Prueba computarizada para la medición de la actividad metanogénica (Connannon et al. 1988)**

Se calcula la actividad metanogénica específica a partir del aumento de presión debido a la producción de  $\text{CH}_4$ , el  $\text{CO}_2$  es eliminado a través de una trampa de metano. El sistema está formado por 256 transductores de presión (0-15 psi) individuales que son monitoreados simultáneamente por una computadora. Los resultados pueden ser desplegados gráficamente y en forma tabular como producción de gas en ml. o en moles de  $\text{CH}_4$ .

En esta prueba no se dan datos sobre las condiciones específicas del montaje experimental.

#### **Metanometría secuencial automatizada (Cohen, 1992)**

Se calcula la actividad metanogénica a partir del aumento de presión dentro de viales durante la biodegradación. El aumento de presión es correlacionado con la cantidad de gas producida.

Se utiliza solamente un transductor de presión de alta sensibilidad con rango de 0 a 7.5 kPa para el monitoreo de 34 botellas en una cámara a 35°C. No se proporcionan detalles sobre el montaje experimental.

### Respirómetro anaerobio ANR-100

Existe un sistema automatizado de biodegradabilidad anaerobia, el ANR-100 de la compañía *Challenge Environmental Systems Inc.*, que mide la tasa de producción de biogás en pruebas anaerobias, a través de la cuantificación de volumen de biogás producido. Este sistema consiste de ocho botellas serológicas, una celda de medición, una interfase y una computadora personal.

Conforme se genera el biogás pasa a través de la celda de medición, provocando la formación de una burbuja, de volumen constante, en el fluido viscoso contenido en la cámara de la celda, figura 1.4. Esta burbuja es detectada y registrada por un contador, el número total de burbujas por unidad de tiempo es almacenado en la computadora para realizar finalmente el procesamiento de datos.

El costo del sistema es de \$16,100.00 USD, que incluye todo el equipo para la operación de ocho botellas, además de un agitador de 8 posiciones.

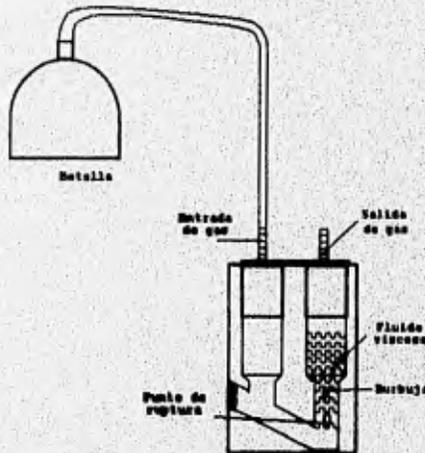


Fig. 1.4 Celda de medición del sistema ANR-100.

### **Prueba de biodegradabilidad anaerobia del Instituto de Ingeniería**

La técnica que actualmente se emplea en el Instituto de Ingeniería, en la coordinación de Bioprocesos Ambientales, consiste en la cuantificación de la cantidad de  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$  contenido en el biogás producto de la degradación por cromatografía de gases.

Dicha cuantificación requiere de una medición previa de la presión en la botella, con el fin de saber si se tiene el nivel de producción suficiente para tomar una muestra para cromatografía. Una vez que se han preparado las botellas con el medio mineral (alimentación), el lodo de inóculo y el agua residual o sustrato, se procede a la medición de la producción de biogás.

Primeramente se elabora una curva de calibración para  $\text{CH}_4$  y en algunos casos para  $\text{CO}_2$ . Se inyectan al cromatógrafo diferentes volúmenes del gas puro en cuestión, a fin de conocer la respuesta del cromatógrafo en función del volumen inyectado. Cada volumen se convierte a número de moles,  $n$ , por medio de la ecuación de los gases ideales (apéndice A-3), obteniendo como resultado una curva de altura de pico en función del número de moles.

La medición de la producción de gas se monitorea en intervalos regulares que dependen de la rapidez de producción estimada. Primeramente, se mide la presión con un transductor acoplado a una aguja que se introduce en el sello de hule de la botella, y cuya lectura se registra del valor desplegado por un dispositivo digital.

Esta medición se compara con la lectura anterior, para determinar según el criterio del operador, si hay acumulado el suficiente biogás (0.5 psig) para la toma de muestra y proceder al análisis cuantitativo de los niveles de producción.

Las botellas son agitadas antes de hacer cualquier medición, a fin de liberar las pequeñas burbujas de biogás atrapadas en la fase líquida. Se debe evitar acumular presiones por arriba de 15 psig dentro de la botella para no exceder el rango de operación del transductor, para lo que se purga la botella con una aguja hasta llegar a 1 psig. La presión purgada debe ser adicionada a las lecturas posteriores.

Para la medición de la cantidad de  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$  contenida en el biogás, se toma una muestra de 0.5 ml que se inyecta al cromatógrafo, para posteriormente medir la

altura del pico de respuesta de cada compuesto. El resultado se interpola en la curva de calibración correspondiente para obtener el equivalente en número de moles.

Con el fin de conocer el número de moles totales contenidas en la botella, se calcula el factor de conversión, Y, que es la relación que existe entre el número de moles contenidas en el volumen inyectado al cromatógrafo y el número de moles contenidas en el volumen total de la botella. El número de moles totales de  $\text{CH}_4$  se obtiene multiplicando el factor Y por el número de moles de  $\text{CH}_4$  obtenidas por cromatografía. El mismo procedimiento se sigue para el número de moles totales de  $\text{CO}_2$ .

Se continua el procedimiento hasta que no haya mayor producción de metano, es decir, cuando el sustrato ha sido completamente degradado por los microorganismos, o cuando los microorganismos no son capaces de degradar la materia orgánica, en cuyo caso se registran incrementos de presión muy pequeños o nulos por un período prolongado de tiempo (figura 1.5).

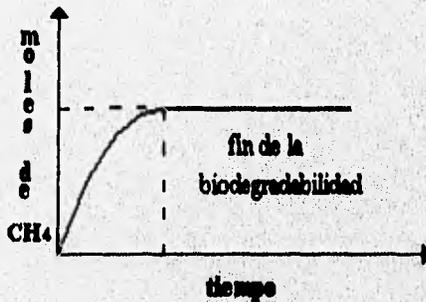


Fig. 1.5 Curva de biodegradabilidad.

Una vez que se determina que la prueba ha terminado, con los datos obtenidos se calculan los parámetros propios de la biodegradación como el porcentaje máximo de biodegradabilidad y la rapidez de reacción.

Como puede observarse en las diferentes metodologías empleadas en pruebas de este tipo, se cuenta con poca información sobre las condiciones de operación de la prueba, así como del montaje experimental. En el caso de la metodología desarrollada por Shelton y Tiedje en 1984 se tiene más información acerca del

procedimiento de operación además de introducir la utilización de un transductor de presión como herramienta de medición.

Por otra parte el sistema comercial ANR-100 tiene un costo elevado, además de no determinar la fracción volumétrica o molar de los principales constituyentes del biogás.

En la metodología empleada en el Instituto de Ingeniería se tienen muchos problemas técnicos en la operación que acarrear consigo inexactitudes en los resultados obtenidos, por lo que se requieren pruebas paralelas de un mismo experimento para mayor confiabilidad en los resultados.

Entre los problemas podemos mencionar:

- Importantes fugas de biogás en las botellas por las continuas perforaciones en los sellos de hule para cada medición, como la presión se acumula en las botellas, a mayor presión generada se tienen mayores fugas.
- Cambios bruscos en las condiciones de temperatura, ya que para la cromatografía es necesario llevar las botellas de la cámara a 35°C al cromatógrafo que está a temperatura ambiente.
- Falta de agitación regulada que provoca la acumulación de burbujas de biogás en la fase líquida, que ocasiona inhibición en la producción.
- Limitaciones para monitoreo continuo las 24 horas del día

## **CAPÍTULO 2**

### **CONCEPTOS BÁSICOS**

En el presente capítulo se tratarán los conceptos básicos que se requirieron para el desarrollo del sistema automatizado basado en la tarjeta de adquisición de datos PCL-812PG de la compañía Advantech Co.

Este sistema lleva a cabo la medición, acondicionamiento y registro, por medio de una PC, de las variables de presión, temperatura y composición de biogás; además de la operación de diferentes dispositivos actuadores. Para la realización de estas tareas se emplea el puerto de salidas digitales, el puerto de entradas digitales, el puerto de conversión A/D de la tarjeta de adquisición de datos, así como una interfase de acondicionamiento. La descripción de la operación y la implementación del sistema se tratará en el capítulo 3.

## 2.1 Sistemas de Adquisición de Datos

Los sistemas de adquisición de datos tienen como principal propósito recolectar y procesar señales de datos en la forma deseada y registrar los datos para un proceso adicional subsecuente. Debido a la diversidad de aplicaciones para estos dispositivos, existe una gran variedad de diseños que se adecuan a una necesidad en particular.

Los sistemas de adquisición basados en una PC están disponibles en dos formatos: el primero emplea el bus de expansión de la PC haciendo uso de uno de los slots de expansión libres; el segundo utiliza un dispositivo para comunicación serial como el RS-232, RS-422 y el RS-485 que permiten la conexión a distancia de un instrumento.

La selección de la tarjeta de adquisición de datos empleada, la PCL-812 se basó en la experiencia que ya se tenía en el desarrollo de sistemas alrededor de tarjetas de esta compañía. Dentro de la gama de tarjetas para adquisición de datos de bajo costo existen tres con características similares, como se muestra en la tabla 2.1, aunque la PLC-812PG tiene más escalas de ganancia para la conversión A/D, aunque menor velocidad que la PCL-818L.

Resolución	12 bits	12 bits	12 bits
Velocidad	25 kHz	40 kHz	30 kHz
Canales A/D	8	16	16
Ganancia A/D programable	1,2,4,8,16	1,2,4,8	1,2,4,8,16
DMA para A/D	No	Si	Si
Canales digitales de entrada	16	16	16
Canales digitales de salida	16	16	16

Tabla 2.1 Cuadro comparativo de tres tarjetas de adquisición de datos.

En la figura 2.1 se muestran las etapas principales de un sistema de adquisición de datos, que son:

- ♦ medición de variables
- ♦ amplificación
- ♦ filtrado
- ♦ tasa de muestreo
- ♦ conversión
- ♦ transmisión

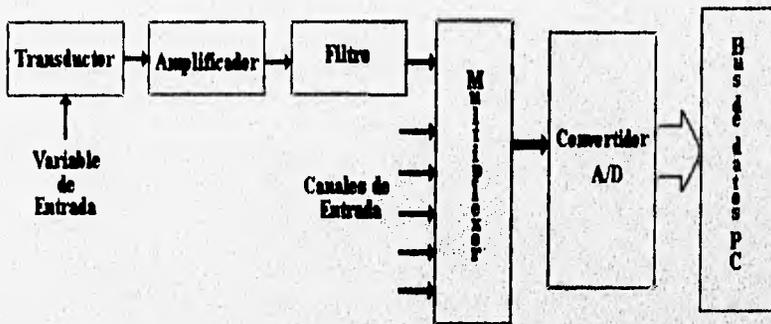


Fig. 2.1 Diagrama a bloques de un sistema de adquisición de datos.

Para la medición de variables, como ya se mencionó, se emplearon los transductores convenientes para efectuar dichas mediciones, las señales obtenidas de los transductores son amplificadas con el amplificador de ganancia programable de la tarjeta de adquisición de datos. Por otro lado la etapa de filtrado no fue necesario implementarla, ya que para la transmisión de las señales se utiliza cable blindado, lo que ayudó a eliminar el ruido.

La tasa de muestreo es variable y fijada en la tarjeta de adquisición de datos a través de sus rutinas de programación. Para que estas señales puedan ser registradas por la computadora es necesario emplear un método de conversión analógica digital, que en este caso es el de aproximaciones sucesivas que está incluido en el módulo de la tarjeta de adquisición de datos. Finalmente el medio de comunicación que utiliza la tarjeta de adquisición de datos con la PC es a través del bus de expansión PC/XT/AT.

## 2.2 Medición de Variables

Para la medición de presión y composición de biogás fue necesario incorporar transductores con los que ya contaba el laboratorio, por lo que a continuación sólo se describe el funcionamiento de los dispositivos empleados, por otro lado en el caso de la medición de temperatura se hará referencia a diferentes métodos de medición a fin de comparar sus características con las requeridas en el fenómeno a registrar.

### Transductores

Un transductor es un dispositivo que recibe energía y responde a esa energía convirtiéndola en una forma usable para un sistema de medición. Los transductores se pueden clasificar en activos, que requieren una fuente de energía externa o pasivos, que pueden convertir la variable medida en una señal eléctrica en forma directa.

Los transductores activos usualmente contienen un circuito pasivo como una resistencia, un capacitor o un inductor, que cambian su valor conforme cambia la variable física. El elemento pasivo es usado para modificar un voltaje de excitación de corriente directa o corriente alterna en respuesta a la variable física, a través de un circuito puente o algún otro circuito para producir un voltaje o una corriente de salida. Por otro lado, los transductores pasivos convierten una cantidad física directamente en una cantidad eléctrica, como ejemplo de transductores pasivos incluyen sensores que producen un voltaje como producto de un efecto termoelectrónico, piezoelectrónico, o fotoelectrónico y por inducción magnética. Estas conversiones absorben energía generada de la variable medida y producen una salida eléctrica como resultado.

#### 2.2.1 Transductores de Presión

El transductor de presión empleado es del tipo activo de diafragma con un sensor de esfuerzo (*strain gage*) como sensor. Los transductores de presión están basados en el principio de igualar una presión desconocida con una fuerza conocida.

Los transductores de presión de diafragma se basan en la característica de deformación elástica del diafragma para compensar la presión desconocida, esto es el diafragma tiene una deflexión de acuerdo con una diferencia de presión entre la presión aplicada y la presión en la cámara. Un diafragma es un disco flexible fijado en la periferia de un soporte y que modifica su forma bajo presión. La cantidad de movimiento del diafragma es proporcional a la presión. Los diafragmas pueden ser usados en un amplio rango de presiones (figura 2.2).

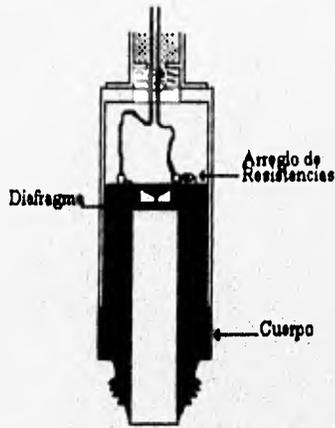


Fig. 2.2 Esquema de un transductor de presión de diafragma.

Otro método mecánico para convertir presión en desplazamiento es el tubo de Bourdon, construido de metal deformable, que es un tubo de metal elíptico o circular cerrado en un extremo, en forma de C, espiral o hélice. La presión dentro del tubo tiende a deformarlo causando deflexión al final de la sección.

En un sistema de medición electrónico es necesario convertir el movimiento mecánico del elemento sensor de presión en una señal eléctrica. Existen muchas técnicas de conversión, las más comunes son: la reactiva, la capacitiva, la potenciométrica y el *strain gage*. Las formas capacitiva, reactiva y potenciométrica convierten el desplazamiento mecánico del sensor en un valor de capacitancia, inductancia y resistencia respectivamente.

El *strain gage* es un medidor de deformación con resistencia eléctrica, es el dispositivo más usado para medir deformación, su operación se basa en el principio de que la resistencia eléctrica de un conductor cambia cuando se somete a una deformación mecánica. Así la aplicación de presión en el diafragma genera un esfuerzo que es sentido por el *strain gage* y convertido a un cierto valor de resistencia eléctrica.

Generalmente los medidores están conectados en ambos lados del diafragma y conectados a su vez a un circuito puente, los dos medidores de un lado del diafragma estarán a compresión y los del otro lado a tensión lo que causará un desbalance en el arreglo resistivo del circuito puente y se manifestará como un cambio de voltaje.

Adicionalmente el transductor debe contar también con compensación de temperatura y resistencia de ajuste.

### 2.2.2 Transductores de Temperatura

A continuación se presentan algunos de los métodos más empleados para la medición de temperatura.

#### Termopares

Una unión termoacoplada se produce cuando dos alambres de materiales diferentes se unen en uno de sus extremos, entonces se presenta una fuerza electromotriz en el extremo de los cables. Si la unión se calienta aparecerá un pequeño voltaje termoiónico que es directamente proporcional a la temperatura entre los cables. Este efecto se conoce como el efecto de Seebeck. Si un circuito está unido en ambos extremos de los cables y si las uniones están a diferente temperatura, entonces circulará una corriente en el circuito. La cantidad de corriente está en función de la diferencia de temperatura de las uniones y del tipo de metales.

Para que un termopar sea útil como medidor de temperatura, una unión se utiliza para sensar (unión caliente), y la otra es la referencia (unión fría). Si la unión fría está a una temperatura conocida, como la temperatura de fusión del hielo, la corriente que circula puede ser calibrada en términos de la temperatura que sensa la unión caliente.

La ecuación del voltaje termoelectrico está dada por:

$$V \approx \alpha(T_1 - T_2)$$

donde:  $V$  = voltaje termoelectrico [V]

$\alpha$  = coeficiente de Seebeck [V / °C]

$T_1 - T_2$  = diferencia de temperatura entre las uniones [°C]

#### Termómetro de Resistencia Eléctrica

El método de resistencia eléctrica es un método bastante exacto de medición de temperatura. Consiste en algún tipo de elemento resistor expuesto a la temperatura que se va a medir. La temperatura se indica mediante la medición del cambio de resistencia en el elemento. Se emplean varios tipos de material como elementos resistivos como: platino, cobre, níquel, hierro, carbón etc. El coeficiente temperatura-resistencia  $\alpha$  está dado por la siguiente ecuación:

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

donde:  $R_1, R_2$  = resistencias del material a las temperaturas  $T_1$  y  $T_2$ , respectivamente.

El coeficiente  $\alpha$  se aplica en intervalos pequeños de temperatura de modo que la variación de la respuesta con la temperatura se aproxime a una relación lineal. Para un intervalo de temperatura más amplio, la resistencia se expresa mediante la relación cuadrática:

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

donde  $R$  = resistencia a la temperatura  $T$

$R_0$  = resistencia a la temperatura de referencia  $T_0$

$a, b$  = ctes. determinadas experimentalmente

### Termistor

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

La ecuación de la resistencia en función de la temperatura para un termistor es:

$$R = R_0 \exp\left[\beta\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right]$$

donde:  $R_0$  = resistencia a la temperatura de referencia  $T_0$

$\beta$  = cte. experimental

El valor de la  $\beta$  depende del material del termistor y la temperatura. El termistor es un dispositivo muy sensible, una característica bastante conveniente es que puede usarse a fin de compensar los efectos temperatura-resistencia en un circuito eléctrico.

## Semiconductores

Para los diodos de silicio, el voltaje a través del diodo decrece con respecto a la temperatura, esto es una propiedad que se aprovecha para emplearlos como dispositivos de medición de temperatura. Estos sensores de temperatura tienen un bajo costo y una buena sensibilidad.

A parte de diodos sensores de temperatura también existen circuitos integrados para este fin que mejoran la exactitud, linealidad y sensibilidad de un simple diodo sensor.

El sensor de temperatura utilizado es un circuito integrado de precisión, la selección se debió a que se requería medir una temperatura en el rango de 35°C con precisión de 1°C, este dispositivo ofrece escala de temperatura más amplia y mejor precisión que la requerida, además de un bajo costo.

### 2.2.3 Método de cromatografía para la detección de gases

La cromatografía es un método físico de separación de un gas en sus componentes, está basado en la distribución de la muestra entre dos fases: la fase estacionaria, que es una superficie extensa empacada apretadamente dentro de una columna, puede ser un sólido o una delgada película líquida que recubre al sólido, y la fase móvil que consiste de un gas inerte, llamado gas acarreador, que conduce la muestra a través de la fase estacionaria. Los componentes de la muestra que interaccionan más con la fase estacionaria permanecen menos tiempo en el gas acarreador en movimiento y por tanto el tiempo de permanencia en la columna es mayor, formándose una cadena de migración progresiva de componentes.

Después de la columna, el gas acarreador y la muestra separada pasan a través de un detector que mide la concentración de cada uno de los componentes y genera una señal eléctrica proporcional a esta concentración. El registro gráfico de esta señal de respuesta se conoce como cromatograma, en él se indican los componentes y el grado de concentración en que estaban presentes en un determinado tiempo, mientras que el registro del gas acarreador es una línea recta horizontal llamada línea base. En la figura 2.3 se muestra un cromatograma en donde se puede ver el perfil de concentraciones, el tiempo de retención (TR) y el área de pico (A) para tres compuestos.

Para identificar una muestra se comparan los tiempos de retención de patrones de muestras conocidas con los obtenidos en el análisis para identificar el compuesto.

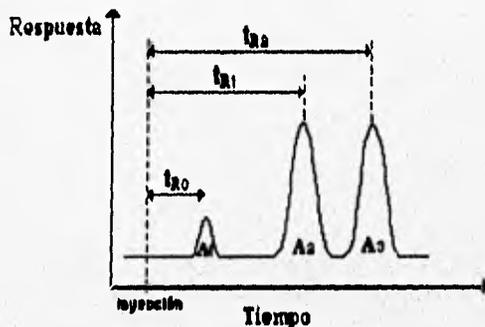


Fig 2.3 Cromatograma.

En la figura 2.4 se muestra un esquema básico de cromatografía, en donde el gas acarreador fluye continuamente desde un cilindro de gas (1), con flujo controlado por la válvula (2), a través de la columna (4) y del detector (5). La muestra se inyecta con una jeringa en la cámara de inyección (3) y es arrastrada al interior de la columna, previamente calentada por el gas acarreador. La muestra se reparte entre el gas acarreador y la fase estacionaria y se separa en cada uno de sus componentes para finalmente ser registrados por un graficador (6).

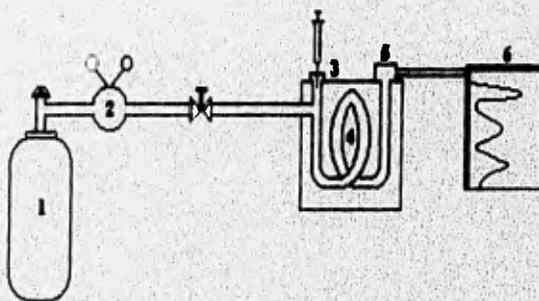


Figura 2.4 Esquema de un sistema de cromatografía básico.

### Detector por conductividad térmica

El detector de conductividad térmica contiene un filamento hecho de un metal cuya resistencia eléctrica cae considerablemente con la temperatura. El calor se transfiere instantáneamente por conducción al chocar las moléculas gaseosas con un filamento caliente, así mientras mayor es el número de colisiones moleculares con el filamento

por unidad de tiempo, mayor es la velocidad de pérdida de calor; por tanto, el detector de conductividad térmica es sensible al caudal.

Cuando está fluyendo el gas portador puro la pérdida de calor y la temperatura del filamento son constantes, mientras que si se eluye una muestra en la columna, las moléculas de la muestra son más grandes, se mueven con más lentitud y conducen menos calor. La temperatura del filamento aumenta y causa el correspondiente incremento en la resistencia eléctrica.

### 2.3 Muestreo

Los transductores convierten los parámetros físicos para ser medidos en voltaje, corriente, o resistencia. Si esta medida no cambia su valor rápidamente, la señal de entrada puede ser considerada como constante o como nivel de DC para consideraciones prácticas. Si por el contrario la medida cambia de valor rápidamente, es considerada una señal con componentes de AC, por lo que la tasa de muestreo o la frecuencia de muestreo juega un papel importante en cuanto a la precisión de la señal registrada.

La señal original es representada por una serie de puntos muestreados a intervalos de tiempo iguales. Para evitar errores debidos a un mal muestreo de la señal se aplica el criterio de Nyquist, que recomienda que este debe hacerse a una tasa mínima del doble de la componente de más alta frecuencia de la señal a muestrear, a fin de evitar errores de traslapación (*aliasing errors*).

En el caso de un sistema de adquisición de datos, en donde se utiliza un convertidor analógico digital, la tasa de muestreo debe considerar la resolución del convertidor a fin de detectar cambios en la señal entre dos muestras consecutivas. La frecuencia de muestreo se calcula como sigue:

$$F_s = \frac{V_{\text{máx}}}{q}$$

donde:  $V_{\text{máx}}$  = máximo nivel de cambio de la señal a muestrear

$F_s$  = frecuencia de muestreo

$q$  = resolución del convertidor

## 2.4 Conversión

Ahora pasamos al punto de registrar señales medidas por los transductores en la PC, para lo que utilizamos el convertidor analógico digital (A/D) de aproximaciones sucesivas de la tarjeta de adquisición de datos.

Un convertidor analógico - digital toma un voltaje de entrada analógico y después de cierto tiempo produce un código de salida digital, que representa la entrada analógica. Tiene las siguientes especificaciones:

### Resolución

La resolución en un convertidor de  $n$  bits es  $2^n$ , lo que determina el rango de valores para la salida binaria de la conversión. A mayor resolución mayor es el número de divisiones en las que el rango de entrada es dividido.

Por otra parte el rango de entrada del convertidor, la ganancia y el número de bits determinan la máxima resolución de la medición:

$$V = R/G \cdot 2^n$$

donde:  $V$  = voltaje mínimo detectable

$R$  = rango de entrada

$G$  = ganancia

$n$  = número de bits

### Exactitud

La exactitud depende de la precisión de los componentes del circuito, indica que el resultado de la conversión puede alejarse una cierta cantidad del valor ideal.

### Linealidad

Es una medida de la máxima desviación de la salida respecto a una línea recta, la cual se extiende sobre el rango completo de la forma de onda.

### Monotonicidad

La monotonicidad se refiere a la capacidad del convertidor de generar de manera continua incrementos en la salida conforme se incrementa la señal de entrada y de manera similar decrementos en la salida conforme se decrementa la señal de entrada.

### 2.4.1 Convertidor analógico digital de aproximaciones sucesivas

En la figura 2.5 se presenta un diagrama a bloques simplificado de un convertidor A/D de aproximaciones sucesivas, en donde la lógica de control modifica bit por bit el contenido del registro hasta que el contenido de éste, se convierte en el equivalente digital de la entrada analógica ( $V_{in}$ ).

El voltaje de entrada analógico  $V_{in}$ , a ser digitalizado, y la salida de voltaje del convertidor digital analógico  $V_{da}$ , son alimentados a un comparador. La salida del comparador es alimentada a un circuito lógico de control que maneja un registro, el cual controla a su vez el convertidor D/A ( $V_{da}$ ) y el voltaje de entrada analógico ( $V_{in}$ ) a un valor menor que el bit menos significativo (LSB). En estas condiciones un número representado por la salida digital del registro es igual a la entrada analógica del comparador.

El sistema opera como sigue: el comando de inicio de conversión limpia el registro y el convertidor, el bit más significativo (MSB) se pone en 1 y su peso, que es la mitad del valor de la escala completa ( $\frac{1}{2}$  FS), es comparado con el voltaje de entrada  $V_{in}$ . Si  $V_{in}$  es mayor que MSB, el MSB se mantiene en 1 y el bit 2 con un peso de  $\frac{1}{4}$  FS es puesto en 1, si la combinación de pesos de estos dos bits ( $\frac{1}{2}$  FS) ahora excede  $V_{in}$ , el bit 2 es puesto en cero y el bit 3 ( $\frac{1}{4}$  FS) es puesto en 1 y ahora la combinación del bit 1 y 3 es comparado con  $V_{in}$ . El proceso continúa con los bits subsecuentes hasta alcanzar el bit menos significativo (LSB). Cualquier bit cuya combinación exceda el valor de  $V_{in}$  será puesto en 0, y por el contrario si la combinación de pesos no excede el valor de  $V_{in}$  el bit se mantiene en 1.

Cuando el LSB es procesado la lógica de control transmite una señal de fin de conversión, la salida del registro es el valor digital que representa el voltaje analógico cuantificado.

La velocidad de un convertidor de aproximaciones sucesivas es limitada por la necesidad de esperar a que cada bit sea procesado, el tiempo de conversión es:

$$T_c = T(n+1)$$

donde:  $T_c$  = tiempo de conversión

$T$  = período del reloj

$n$  = no. de bits

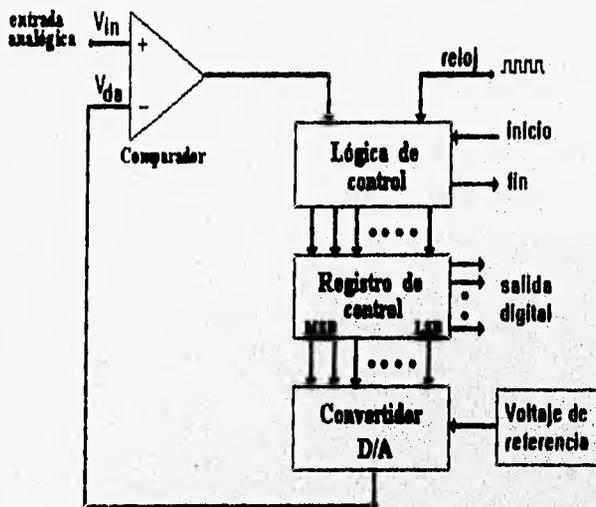


Fig 2.5. Diagrama de un ADC de aproximaciones sucesivas.

Es posible usar una técnica de dos pasos, la cual puede funcionar al doble de velocidad, en este proceso los bits son procesados en dos grupos, los bits altos y los bits bajos; cada grupo tiene su propio convertidor A/D por lo que al reducirse la precisión se reduce el tiempo de conversión para cada convertidor.

## 2.5 Transmisión

Como ya se mencionó, la tarjeta de adquisición de datos establece comunicación con la computadora a través del bus de expansión PC/XT/AT. El estándar original y más usado es el ISA (Industry Standard Architecture) de 8 bits, el EISA (Extended Industry Standard Architecture) de 16 bits y el MCA (Micro Channel Architecture) de 16 o 32 bits).

El bus ISA está basado en un conector de 62 señales que permite el acceso al bus de datos de 8 bits y la mayoría de las señales de control y alimentación:

- $\pm 12$  Vdc
- $\pm 5$  Vdc
- GND
- señales para acceso directo a memoria (DMA)
- señales de interrupción
- tiempos (OSC, CLK)

- señales de control de escritura y lectura de la memoria y del puerto de entrada salida
- líneas de dirección
- líneas de datos
- actualización de la memoria
- detección de errores

La potencia disponible en el bus de expansión depende de las características de la fuente de alimentación, los requerimientos de la tarjeta madre y las demandas de otras tarjetas adaptadas. Los límites recomendados por cada bus de expansión son los mostrados en la tabla 2.2.

+5 V	1.5 mA
-5 V	100 mA
+12 V	500 mA
-12 V	100 mA

Tabla 2.2 Características del bus de expansión ISA

La CPU debe enviar una señal de estado, que describe el estado del CPU al controlador de bus, para decirle que tipo de ciclo de bus debe ejecutar. Dentro de los principales ciclos de bus se encuentran:

- ciclo de lectura de memoria
- ciclo de escritura de memoria
- ciclo de lectura del puerto de entrada-salida
- ciclo de escritura del puerto de entrada-salida
- ciclo de interrupción

Los ciclos de escritura y lectura en un proceso normal usan cuatro ciclos del reloj del sistema por byte transferido, para la transferencia DMA (*Direct Memory Access*) los ciclos de entrada salida (I/O), lectura y escritura requieren cinco ciclos de reloj.

Hasta este capítulo se han establecido las bases que fundamentan este trabajo de tesis, tanto para las pruebas de biodegradabilidad anaerobia, como para los sistema de adquisición de datos. Para pasar ahora a describir el sistema desarrollado en el siguiente capítulo.

## **CAPÍTULO 3**

# **DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA**

### 3.1 Descripción del sistema automatizado

El propósito del sistema automatizado es crear una prueba confiable y simple que suprima los problemas que se tienen al realizar ésta de manera manual. La ventaja es la eliminación de la continua manipulación de las botellas durante las mediciones, a través de un sistema de medición fijo, que permite el monitoreo continuo con una PC como elemento central. Adicionalmente se proponen mejoras a la metodología tradicional con el propósito de una mayor regulación y control de las condiciones de operación.

Cuenta con una interface de software con la que el usuario interactúa para determinar las condiciones de operación y llevar el seguimiento de los niveles de producción por medio de reportes gráficos y reportes en forma de tablas, además de regular el temporizado, registro y procesamiento de los datos.

Una interface de hardware establece el vínculo de comunicación entre los dispositivos periféricos y la unidad central de control, además de llevar a cabo la adquisición y acondicionamiento de las señales de sensado y control. En la figura 3.1 se muestra un diagrama general del sistema, el cual se describe.

La metodología propuesta está basada en el monitoreo de incrementos de presión de manera puntual, como cuantificador de la cantidad total de biogás producido y en la determinación de la proporción en que están contenidos los principales constituyentes de éste ( $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$ ), por cromatografía de gases. Esto es, se mide la presión en intervalos regulares, que dependen de la rapidez de producción de biogás de los microorganismos, después de cada medición se hace una purga, compensando con la presión atmosférica, a fin de que en cada turno sea medida la acumulación durante ese período de tiempo.

Lo anterior evita una sobreacumulación de presión en la botella y con ello una posible inhibición en la producción de biogás. De forma paralela se lleva un registro de la presión acumulada, con la suma de los incrementos medidos.

Junto con la presión se mide la temperatura a la que se encuentran las botellas. Con el propósito de mantener la prueba en condiciones favorables para la biodegradación, las botellas se colocan en una cámara con temperatura regulada a  $35^\circ\text{C}$ , sumergidas en un recipiente con un baño de agua para amortiguar posibles cambios en las condiciones de temperatura. Las mediciones anteriores son reportadas en el archivo correspondiente y a partir de éstas se calcula el número de moles totales del biogás con la ley de los gases ideales (apéndice A-3).

La determinación de la composición de biogás se realiza a través de un cromatógrafo. Una vez que la lectura de presión fue realizada, la muestra de gas se conduce hacia un *loop* de 0.5ml conectado a una válvula actuadora que conmuta una válvula. Normalmente el biogás es expulsado hacia la atmósfera después de pasar por el *loop*; sin embargo, cuando se requiere hacer una lectura de la composición del biogás, el actuador conmuta la posición de la válvula y el biogás es arrastrado por el gas acarreador (helio) hacia el cromatógrafo.

En el cromatógrafo son separados el CH<sub>4</sub> y posteriormente el CO<sub>2</sub>. Un detector registra el volumen de cada uno de los compuestos y entrega como respuesta un pico de voltaje correspondiente. La computadora muestrea por turnos el pico de voltaje y calcula el área, con el método de Simpson (apéndice A-1), los valores de área son interpolados en la curva de calibración correspondiente, a fin de obtener el número de moles de CH<sub>4</sub> ( $n_{CH_4}$ ) y el número de moles de CO<sub>2</sub> ( $n_{CO_2}$ ) contenidas en la muestra de 0.5ml. Con los datos de cromatografía se obtiene la fracción molar (X) (apéndice A-4), que representa la proporción que guarda un compuesto en un cierto volumen de sustancia.

Como la fracción mol es la misma en el volumen inyectado a cromatografía que en el volumen de la botella (180ml), se calcula el número de moles totales para cada compuesto, multiplicando la fracción mol X correspondiente, por el número de moles totales determinado en el monitoreo de presión. Teniendo como resultado el número de moles totales de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>.

La curva de calibración modela el comportamiento del cromatógrafo para las condiciones en que se realiza la prueba. Se elabora al principio de cada prueba una curva para cada compuesto de interés, esta curva se obtiene inyectando diferentes volúmenes de gas puro CH<sub>4</sub> o CO<sub>2</sub>, según sea el caso al cromatógrafo de manera manual, para posteriormente registrar con la computadora el pico de respuesta a esa muestra. El conjunto de datos obtenido se linealiza por el método de mínimos cuadrados (apéndice A-2), para encontrar una relación de área de pico de respuesta en función del número de moles inyectado. El usuario determina la cantidad de volúmenes con los que va a hacer la calibración, así como el valor de éstos, cantidades que introduce al sistema. Cada valor de volumen se inyecta por triplicado, los cálculos se realizan a través de una subrutina del programa.

En la prueba se puede llevar a cabo la regulación del tiempo y velocidad de agitación de las botellas, controlando un agitador de 9 posiciones de manera automática. El usuario fija los intervalos de agitación, así como la velocidad.

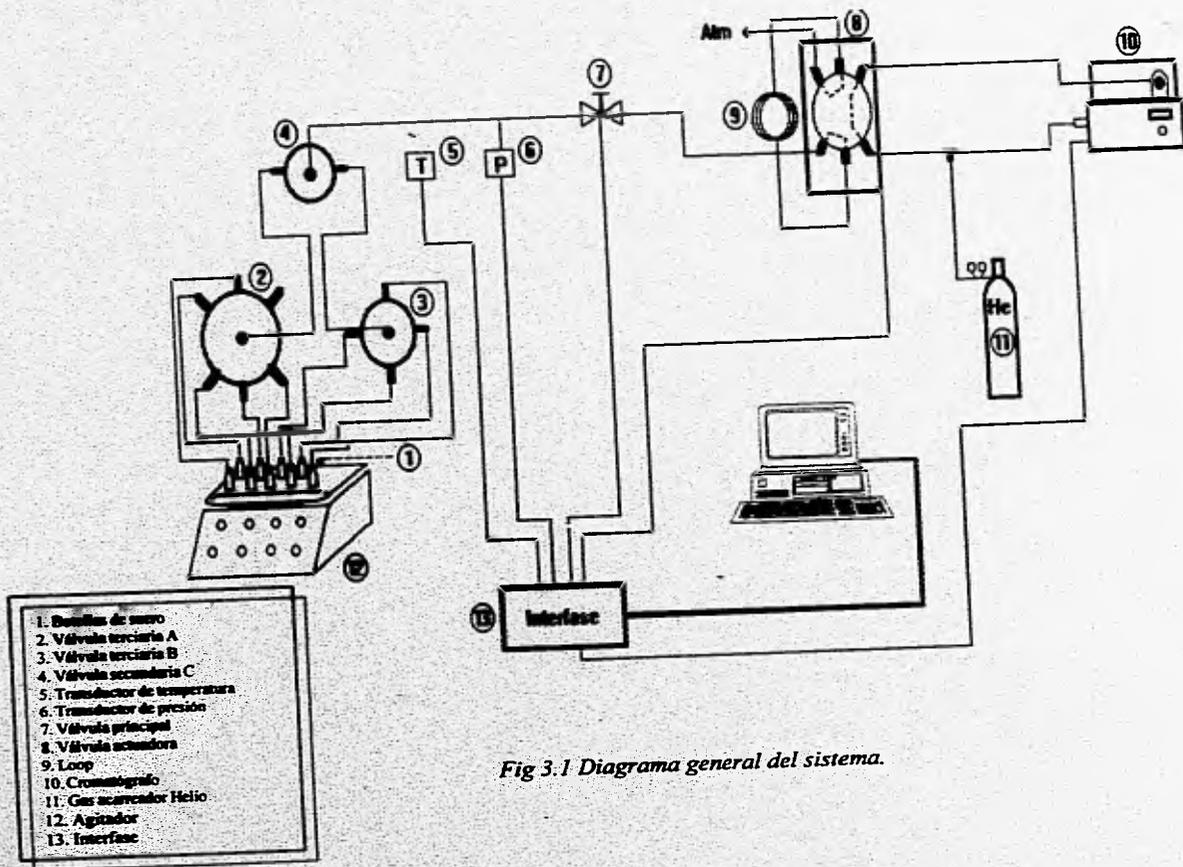


Fig 3.1 Diagrama general del sistema.

### 3.2. Hardware del sistema

El *hardware* del sistema tiene como principal actividad el manejo de señales de sentido y control. Las variables a sentir son: presión, temperatura y composición de biogás, mientras que las señales de control incluyen: apertura y cierre de válvulas, control de encendido y velocidad de agitación e inyección de biogás para cromatografía.

Para las señales de sentido se emplea una tarjeta de adquisición de datos de la compañía Advantech Co, además de una interface construida en versión de prototipo para el acondicionamiento de señales y el manejo de los dispositivos actuadores, las cuales se describen más adelante en este capítulo. En la figura 3.2 se muestra el diagrama a bloques de esta etapa de hardware.

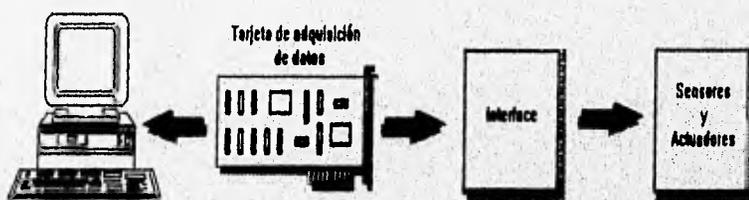


Fig.3.2 Diagrama de bloques de la etapa de hardware

#### 3.2.1 Sistema de adquisición

##### 3.2.1.1 Adquisición de Datos

Esta etapa se centra en la utilización de la tarjeta de adquisición de datos PCL-812 PG de propósito general, para computadoras IBM PC/XT/AT y compatibles, incluye un manejador de funciones que es programado por medio de una tabla de parámetros definida por el usuario en lenguaje C/C++, BASIC y PASCAL. Sus principales características son:

- ♦ 16 canales analógicos
- ♦ convertidor analógico digital de 12 bits
- ♦ rango de ganancias programables para las entradas analógicas
- ♦ velocidad de muestreo programable de hasta 30 kHz

- ♦ transferencia de datos de la conversión A/D por DMA (*direct memory access*), interrupción y software
- ♦ 16 canales de salida digital
- ♦ 16 canales de entrada digital

En la figura 3.3 se muestra el diagrama a bloques de la tarjeta PCL-812PG.

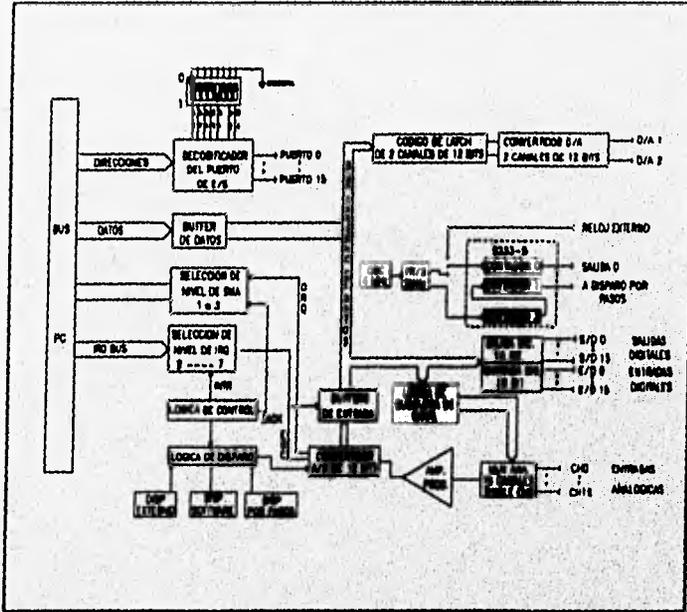


Fig. 3.3. Diagrama a bloques de la tarjeta PCL-812.

### Entradas Analógicas

El puerto de entradas analógicas utiliza un convertidor A/D para que cada una de las 16 señales de entrada puedan ser leídas digitalmente por la computadora. Esta conversión se realiza con el convertidor HADC574Z de aproximaciones sucesivas, con resolución de 12 bits, linealidad de  $\pm 1$  bit y exactitud de 0.015% en una lectura de  $\pm 1$  bit. Opera con 5 diferentes rangos de entrada y ganancia variable, ambos programables.

El procedimiento de conversión requiere que se seleccione el canal de entrada de la señal analógica en la dirección BASE+10, el rango de voltaje y la ganancia en la dirección BASE+9. Posteriormente se revisa el bit de dato listo (DRDY) en la dirección BASE+5, para detectar que el dato ya ha sido convertido y registrarlo.

Para almacenar el dato binario de 12 bits de salida del convertidor son necesarios 2 registros (BASE+4 y BASE+5), por lo que se lee primero el byte más significativo y después el menos significativo, para finalmente obtener el equivalente decimal de la palabra de 12 bits.

Los datos resultantes son transferidos a la memoria de la computadora por control de programa. Una vez que se ha activado el convertidor, el programa de aplicación inspecciona el bit (DRDY) de la parte alta del registro, si el bit DRDY es 0, el dato convertido es movido del registro de dato A/D, a la memoria de la computadora por el control del programa de aplicación.

La estructura de registros y formato de los datos en las funciones de la tarjeta PCL-812PG se mencionan en el apéndice B.

#### **Entradas digitales**

Las señales digitales en el puerto de entrada son compatibles con la lógica TTL, con un canal de 16 bits normalmente fijo en alto (1 lógico) con las siguientes características eléctricas:

voltaje de entrada: Nivel bajo 0.8V máximo. Nivel alto 2.0V mínimo

carga de entrada: Nivel bajo 0.4mA máxima a 0.5V

Nivel alto 0.05mA máxima a 2.7V

El puerto de entrada digital utiliza dos registros de lectura en las direcciones BASE+6 y BASE+7.

#### **Salidas digitales**

Las salidas digitales son compatibles con niveles TTL, el canal de 16 bits está normalmente fijo en bajo (0 lógico) con las siguientes características eléctricas.

voltaje de salida: Nivel bajo 8mA a 0.5V máximo

Nivel alto 0.4mA a 2.4 V

Este puerto utiliza dos registros de escritura en las direcciones BASE+13 y BASE+14.

### 3.2.1.2 Sensor y circuito acondicionador de presión

Debido a la necesidad de estandarizar las señales eléctricas de los sensores para hacerlas apropiadas para la etapa de adquisición, es indispensable utilizar módulos de acondicionamiento de señal.

En el caso del sensor de presión se seleccionó un transductor de presión de diafragma, de la compañía Cole and Parmer, con rango de 0-15 psig, señal de salida de 4-20mA, y precisión de 0.4%, error usando el método de mínimos cuadrados. Opera con alimentación de 12 a 30V de DC en condiciones de temperaturas de -29 a 82°C.

La salida de corriente es convertida a voltaje con una resistencia en paralelo a la salida del transductor y conectada al puerto 1 de entrada analógica de la tarjeta de adquisición de datos. (figura 3.4)

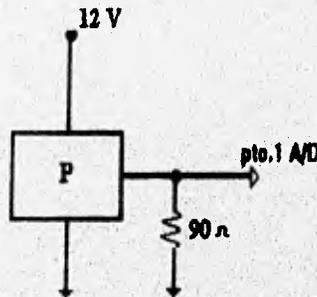


Fig 3.4 Sensor de presión.

Por las características de operación del transductor se requiere una compensación por offset de 4.018mA, que corresponde a una presión de 0 psig, que se hace por programación.

### 3.2.1.3 Sensor y circuito acondicionador de temperatura

El sensor para medir la temperatura es el LM35D de la compañía National, que tiene un rango amplio de temperatura de 0 a +100°, factor de escala de 10mV/°C, precisión de  $\pm 1$  °C, rango de polarización de 4 a 30V, corriente de salida de 10mA.

El circuito es polarizado con +12V y la salida de voltaje, proporcional a la temperatura, se conecta al puerto 2 de entrada analógica del módulo de adquisición de datos (figura 3.5.).

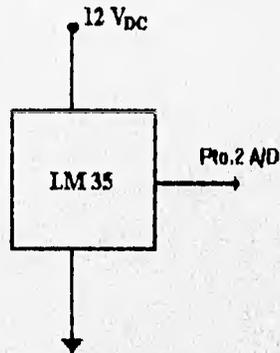


Fig. 3.5 Sensor de temperatura.

### 3.2.1.4 Sensor de composición de gases

Para determinar la concentración de  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$  contenida en el biogás, se utiliza un cromatógrafo de gases de la compañía SRI Instruments, con detector de conductividad térmica (TCD Thermal Conductivity Detector), rango de voltaje de salida de  $\pm 4\text{V}$ , tiempo de detección de 2' 20" para el compuesto de mayor retención ( $\text{CO}_2$ ) con un flujo de gas acarreador de 20ml/min.

La señal de salida del cromatógrafo está conectada al puerto 3 de entrada analógica, donde la señal se muestrea a 5 Hz durante 300 segundos para la detección de ambos compuestos.

### 3.2.2. Sistema de control

El sistema de control tiene como principal tarea el manejo de los dispositivos actuadores empleados en el sistema.

Utiliza los puertos de entrada y salida digitales de la tarjeta de adquisición de datos. Debido a que la naturaleza de la salida digital y la alimentación para los actuadores varía en un gran rango de voltajes de corriente directa y alterna, se requiere de varias etapas para realizar el manejo de los actuadores.

### 3.2.2.1 Etapa de válvulas

La etapa de válvulas tiene como función controlar el acceso del biogás a los diferentes dispositivos de medición. Cuenta con dos tipos de válvulas, la primera corresponde a la selección de una de las 9 botellas en turno de muestreo y la segunda para compensar la presión en el interior de la botella con la presión atmosférica.

La parte de selección de botella cuenta con una válvula de 9 entradas y una salida integrada a partir de un arreglo de tres válvulas del tipo solenoide con polarización de 12V de DC, corriente de 120mA, presión máxima de 35 psi, temperatura máxima de operación de 80°C. La etapa de compensación atmosférica utiliza una válvula solenoide con polarización de 12V de DC, corriente de 500mA, rango de temperatura de operación de -20 a 60°C.

Para activar las válvulas se requieren 12V de DC y las salidas digitales manejan 5V, para lo que se implementó un circuito de conmutación con base en un transistor con polarización de 12V y excitación con el puerto digital de la tarjeta de adquisición de datos (figura 3.6).

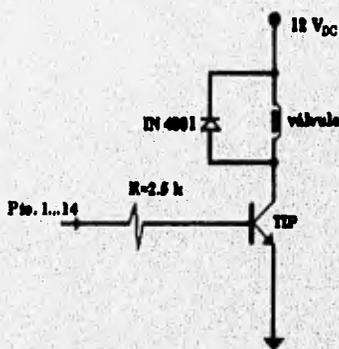


Fig. 3.6. Circuito de conmutación para la etapa de válvulas.

### 3.2.2.2 Etapa de Inyección automática

La etapa de inyección es la que permite que una muestra del biogás acumulada en un *loop*, sea arrastrada por el gas acarreador al puerto de inyección del cromatógrafo, por medio de una válvula actuadora eléctrica. La válvula actuadora tiene tres puertos, uno de los cuales es el *loop* que se conecta en serie a cualquiera de los puertos de carga (*Load*) o inyección (*Inject*).

Este actuador eléctrico requiere polarización de 120V de AC, corriente de 3A, incluye un adaptador que permite el control automático por medio de una computadora. Opera con lógica negada, por lo que un 1 lógico es con 0V y un 0 lógico es con 5V. Para la posición de inyección del actuador se utiliza el puerto 1 y para la posición de carga del actuador el puerto 2 de las salidas digitales conectadas a un transistor en configuración inversora (figura. 3.7).

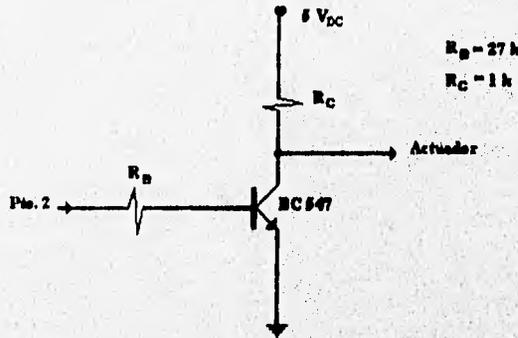


Fig. 3.7. Circuito de activación del actuador eléctrico.

### 3.2.2.3 Etapa de agitación

Se encarga de controlar tanto el encendido y apagado, así como la velocidad de agitación. El agitador utilizado tiene 9 motores con control de velocidad manual independiente. Opera con 115V de AC y corriente máxima de 5A para los 9 motores. La forma de operación consiste en poner dentro de cada botella un pequeño imán en forma de píldora que se mueve agitando, conforme gira la placa magnética acoplada al motor.

Para el control se utiliza un circuito que primeramente se sincroniza con la línea de voltaje de 115V de AC, detectando, con el puerto 0 de entrada digital el cruce por cero de la señal rectificad a media onda. Cada vez que un cruce es detectado se polariza un dispositivo acoplador óptico con el puerto 3 de salida digital.

Este acoplador activa un SCR que permite el flujo de corriente a través del motor durante un determinado tiempo de cada ciclo y el cese de corriente durante el resto del ciclo. La velocidad será entonces proporcional al ciclo de trabajo (figura 3.8).

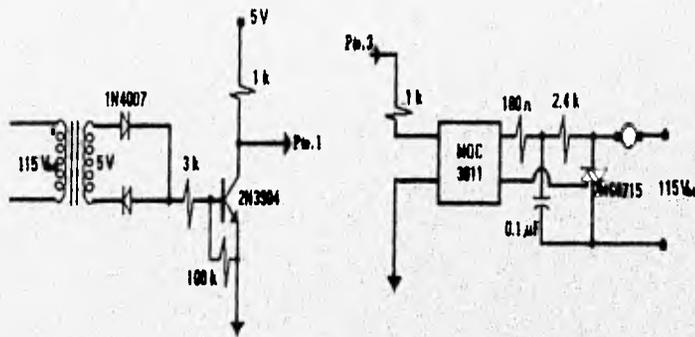


Fig 3.8 Circuito controlador de agitación.

### 3.2.3 Diagrama general. Eléctrico

En la figura 3.9 se muestra el diagrama eléctrico de la interfase desarrollada. El voltaje de alimentación de 5V y 12V son tomados de la tarjeta de adquisición de datos, que a su vez está conectada al bus de expansión de la PC, la tarjeta cuenta con conectores para cada puerto, por lo que en este diagrama se muestra cada puerto por separado, como un conector del cual se toman las señales.

El sistema se encuentra físicamente dividido en dos secciones, la primera en la cámara a temperatura constante, en donde están las botellas junto con el agitador, todo el sistema de válvulas y los sensores de presión y temperatura. La segunda contigua a la cámara que es desde donde el operador efectúa el seguimiento de la prueba con la computadora, aquí se encuentran también la tarjeta de adquisición de datos, dentro de la computadora, la interface, y el cromatógrafo junto con la válvula actuadora (figura 3.10).

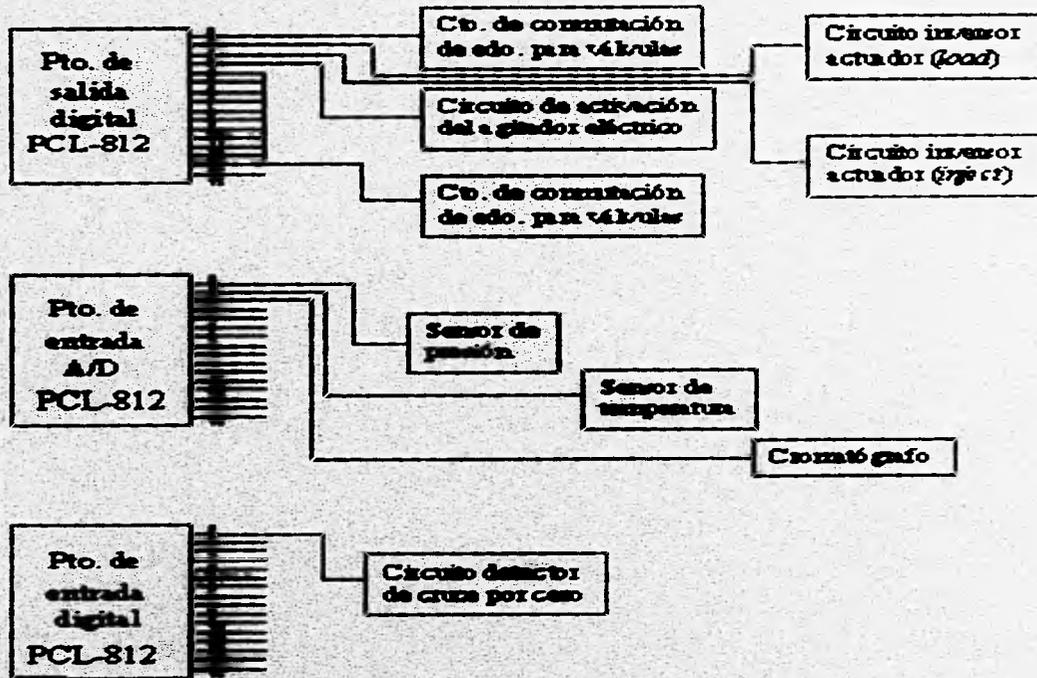
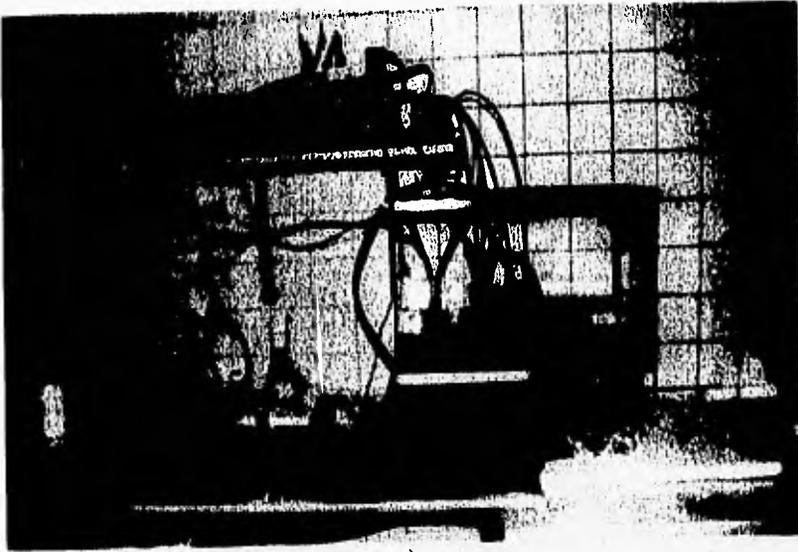


Fig. 3.9 Diagrama eléctrico.



a)



b)

*Fig 3.10 Interconexión de módulos. a) Dentro de la cámara a 35°C;  
b) En el laboratorio.*

### 3.3 Etapa de software

En la sección anterior se cubrieron los aspectos más importantes acerca del *hardware* del sistema. En esta sección se describirá la programación de la computadora personal en lenguaje Turbo C++.

Esta interface tiene como principales funciones la adquisición y registro de datos, el control de actuadores y la generación de reportes gráficos y en forma de tablas. Interactúa con el usuario a través de menús para la ejecución de macroinstrucciones.

#### 3.3.1. Programa principal

Al iniciar el programa se despliega una pantalla gráfica de menús, desde donde el usuario fija, tanto los parámetros de tiempo para cada una de las funciones del sistema y la forma de agitación. Posteriormente con la función arrancar se inicializan todos los registros y el cronómetro del reloj del sistema.

Una vez que se ha iniciado, el programa principal se encarga de llevar el registro del reloj y comparar los parámetros de tiempo para llevar a cabo las acciones de medición de presión, composición de gas y agitación; mientras verifica si hay alguna interrupción del teclado para atender, si es el caso la correspondiente acción seleccionada del menú (figura 3.11).

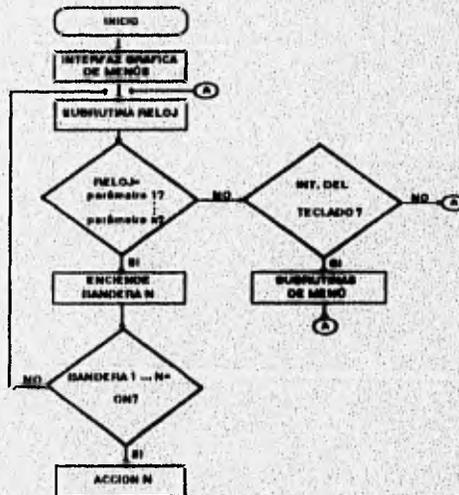


Fig 3.11 Estructura del programa principal.

### 3.3.2 Rutina de menús

Esta rutina es el medio de comunicación con el usuario, a través del cual se determina la forma de operación de la prueba, actualiza los parámetros, visualiza resultados preliminares y manipula los archivos de reportes. La rutina de menús consta de cuatro menús principales:

- Archivo
- Prueba
- Parámetros
- Datos

#### **Archivo**

En la opción de archivo están las acciones referentes a los archivos de reportes como: Leer, Copiar, Borrar y Salir.

#### **Prueba**

En la opción Prueba se pueden seleccionar las opciones relacionadas con el tipo de prueba que se quiere hacer y con la iniciación de la misma. Las opciones son: Nueva, Continua y Arrancar.

En el caso de Nueva se inicializan todos los anteriores y es necesario introducir todos los parámetros de operación desde la pantalla mostrada en la figura 3.12. La opción Continuar lee los parámetros de la prueba inmediata anterior de un archivo auxiliar, para darle continuación a los archivos de reportes de manera secuencial. Esta opción es muy útil en caso de falla en el suministro de energía eléctrica.

La opción Arrancar es con la que se da comienzo a la prueba, para ello se inicializa un cronómetro basado en el reloj del sistema en la computadora que se encarga de calcular y verificar los tiempos para la ejecución de las funciones en tiempo real.



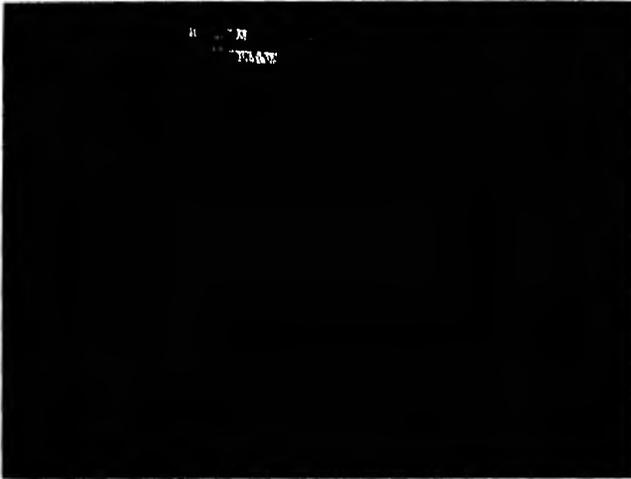
Fig. 3.12 Pantalla para introducir los parámetros

### Parámetros

Dentro del menú Parámetros se pueden cambiar los principales parámetros de la prueba antes o después de iniciada. Las opciones que tiene son:

- ◆ Archivo.- Modifica el nombre de la serie de archivos de reportes.
- ◆ Presión.- Modifica el parámetro de muestreo de presión.
- ◆ Gases.- Contiene tres opciones contenidas en un submenú.
  - Muestreo.- Modifica el tiempo de muestreo.
  - Integración.- Tiene un submenú de dos opciones:
    - Línea base.- Modifica el parámetro de línea base.
    - Área rechazada.- Modifica el parámetro de área rechazada.
  - Calibración CH<sub>4</sub>.- Ejecuta la calibración del cromatógrafo para CH<sub>4</sub>.
  - Calibración CO<sub>2</sub>.- Ejecuta la calibración del cromatógrafo para CO<sub>2</sub>.
- ◆ Agitación.- Este menú a su vez contiene un submenú de tres opciones:
  - Intervalo.- Modifica el parámetro de tiempo entre agitaciones.
  - Forma.- Cambia la forma de agitación a continua o interrumpida.
  - Velocidad.- Modifica la velocidad a lenta, mediana o rápida.
- ◆ Duración.- Modifica el tiempo de duración de la prueba.
- ◆ Ver.- Muestra todos los parámetros de la prueba.

En la figura 3.13 se muestra la pantalla con toda la secuencia de ventanas que aparecen para modificar los parámetros de integración, la línea base y el área rechazada, para la cromatografía de gases.



*Fig. 3.13 Pantalla principal de menús.*

**Datos**

La opción Datos contiene la opción Graficar que permite el monitoreo instantáneo en pantalla de forma gráfica de la actividad de la prueba para cada una de las botellas de manera independiente. El comportamiento es analizado con respecto a la producción y a la composición del biogás. En la figura 3.14 se muestra una gráfica de presión en un vial durante una prueba, y en la figura 3.15 el diagrama de flujo para la subrutina de graficar.



*Fig. 3.14 Pantalla de graficación para la presión.*

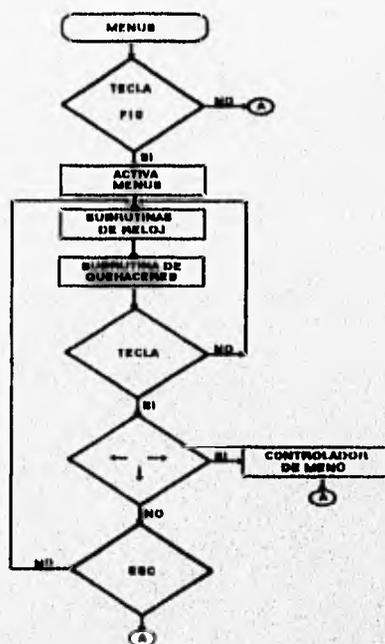


Fig 3.15 Estructura de la subrutina de menús.

### 3.3.3 Rutina de reloj

Esta rutina es la encargada del temporizado de las tareas de la prueba. Está basada en el reloj interno de la PC que contabiliza la hora de arranque y la hora actual, para conocer el tiempo transcurrido, y de esta manera implementar la función de un cronómetro.

El dato del tiempo transcurrido es comparado con los parámetros de tiempo de cada tarea, en caso de ser iguales, se activa una bandera que es atendida en la rutina de quehaceres (figura. 3.16).

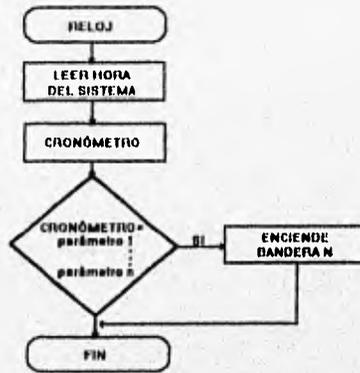


Fig 3.16 Estructura de la subrutina de reloj.

### 3.3.4 Rutina de quehaceres

Lleva a cabo la verificación de las banderas activas para realizar algunas de las siguientes tres tareas: calibración de cromatografía, sensado y registro de presión y temperatura para cada botella, sensado y registro de la composición del biogás y control de agitación.

Cada una de las tareas está dividida a su vez en subtareas para hacer más eficiente la atención de las interrupciones en la rutina de menús.

#### 3.3.4.1 Calibración cromatográfica

La calibración consiste en la obtención de un curva de la respuesta del cromatógrafo, en función del número de moles de un cierto gas puro, para nuestro caso consideramos el  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$ .

Consideramos que durante el proceso de calibración es necesario conocer el número de muestras de diferentes volúmenes a analizar. Cada muestra se hace por triplicado debido a la baja repetibilidad en la respuesta del cromatógrafo, que tiene un bajo coeficiente de reproducibilidad. Posteriormente se introduce el volumen de la muestra, la rutina muestra en pantalla que ésta lista para la inyección manual al cromatógrafo de la muestra. Una vez hecha está el usuario oprime la tecla *Enter*, y se comienza a muestrear la respuesta del cromatógrafo durante un tiempo que depende del gas a calibrar. Con los datos obtenidos se calcula el área del pico de respuesta por el método de Simpson (apéndice A-1).

Ya que se han hecho los pasos anteriores para todas las muestras, se calcula el equivalente en número de moles de cada volumen por la ley de los gases ideales (apéndice A-3). A los valores de área de pico en función del número de moles, se les aplica una regresión lineal con el método de mínimos cuadrados (apéndice A-2). El resultado es una ecuación lineal que modela el comportamiento del cromatógrafo para las condiciones actuales de operación. En la figura 3.17 se muestra el diagrama de flujo para esta rutina.

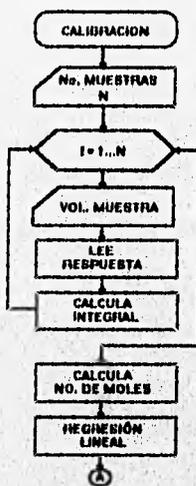


Fig 3.17 Estructura de la rutina de calibración para cromatografía.

### 3.3.4.2 Sensado y registro de presión y temperatura

En esta etapa se hace el control de las válvulas de manera sincronizada para dar acceso al biogás de cada botella a la vía principal por turnos, desde donde se mide la presión de éste y la temperatura de la cámara.

La secuencia de eventos inicia con la apertura de la válvula (B) o de la válvula (C), según la figura 3.1, que son las que están directamente conectadas a las botellas, y la apertura de la válvula secundaria (A) que es la que da paso al biogás al sensor de presión.

Después de transcurridos 20 segundos para la estabilización del flujo de gas en la línea, se lee y registra la presión y temperatura en el archivo correspondiente. Una vez obtenidos los datos se purga la botella durante 20 segundos, para lo que se activa la válvula principal que permite el paso del biogás a la atmósfera pasando por el loop (L) de la válvula actuadora (UA).

Finalmente se desactivan todas las válvulas y se repite el mismo procedimiento para la siguiente botella, hasta muestrear todas ellas. El número de botellas es fijado por el operador y puede ser desde una hasta nueve. El diagrama de flujo correspondiente a esta rutina se presenta en la figura 3.18.

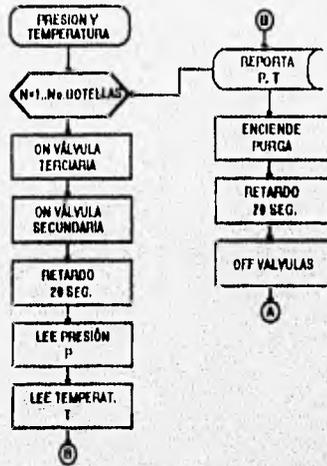


Fig 3.18 Estructura de sensado y registro de presión y temperatura.

### 3.3.4.3 Sensado y registro de composición del biogás

En esta sección se cuantifica la composición del biogás por cromatografía. Para lo que el loop de la válvula actuadora, que contiene la muestra depositada durante la purga, conmuta su posición del estado carga al estado de inyección por 3 segundos.

Después de 87 segundos, que es el tiempo de retención para el CH<sub>4</sub>, comienza el muestreo de la señal de respuesta. Cada lectura es pasada por un filtro que descarta señales debidas al ruido, de acuerdo con el parámetro de línea base fijado por el usuario.

Con la serie de valores obtenida se hace una integración numérica para obtener el área de pico de respuesta, por el método de Simpson, este valor pasa por un segundo filtro en donde se descartan picos debidos a ruido de acuerdo al parámetro de área rechazada, fijado también por el usuario. Este resultado se interpola en la curva de calibración de CH<sub>4</sub>, para conocer el número de moles contenidas en la muestra de 0.5ml. De manera similar se determina el número de moles de CO<sub>2</sub>, con un tiempo de retención de 180 segundos. En la figura 3.19 se muestra la pantalla del programa desde se modifican los parámetros de línea base y área rechazada.



Fig 3.19 Pantalla de parámetros de integración para la cromatografía.

Una vez obtenidos ambos valores, se calcula la fracción mol para cada compuesto (apéndice A-4), a fin de determinar el número de moles totales contenidas en el volumen de la fase gaseosa en la botella. Finalmente tanto el número de moles, como la fracción mol son reportados en los archivos correspondientes (figura 3.20).

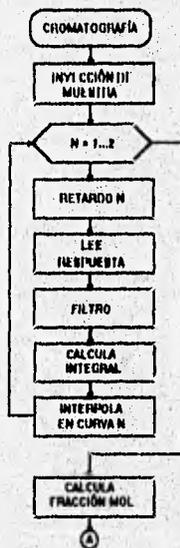


Fig 3.20 Estructura de sentido y registro de composición de biogás.

### 3.3.4.4 Control de agitación

Este proceso se encarga de activar y controlar la agitación durante 15 segundos, en cada cada llamado a esta rutina. La primera función es la de lectura del puerto 1 de entrada digital hasta la detección de un pulso, que indica el comienzo del ciclo para la sincronización. Una vez detectado el pulso, éste activa el agitador por 8 milisegundos para una velocidad rápida, 6 milisegundos para una velocidad mediana y 3 milisegundos para una velocidad lenta; después se mantiene desactivado el agitador hasta que se detecta el siguiente pulso. Este procedimiento se realiza 1800 veces para cumplir con los 15 segundos de operación (figura 3.21).



Fig. 3.21 Estructura para el control de agitación.

### 3.3.5 Generación de reportes

Esta rutina es la encargada de almacenar la información en archivos en forma de tablas para la presión y temperatura, composición de gas y número de moles. Cada archivo tiene el nombre de la prueba que finaliza con el número de botella y una extensión que identifica el tipo de reporte (tabla 3.1):

Extensión	Descripción
.pre	Archivo de reporte de presión y temperatura
.gas	Archivo de reporte de composición de gas obtenida por cromatografía
.mol	Archivo de reporte de producción de biogás en número de moles

*Tabla 3.1 Extensiones de los archivos de reportes.*

El reporte de presión y temperatura contiene: el número consecutivo de muestra, la hora a la que se hizo la medición, el incremento de presión leído, la presión acumulada y la temperatura leída (figura 3.22). En forma paralela al reporte de presión se genera un archivo auxiliar de presiones acumuladas, que es el que accesa el sistema cuando gráfica la producción de biogás en pantalla para cada una de las botellas.

Para la composición de biogás se reporta: el número de medición, el tiempo, y el número de moles de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>, obtenidos en la cromatografía. El archivo de reporte de producción de biogás, incluye el número de muestra, el número de moles totales, el número de moles totales de CH<sub>4</sub> y el número de moles totales de CO<sub>2</sub>.



*Fig. 3.21 Pantalla para leer el reporte de presión.*

En este capítulo se ha descrito la forma de operación de la metodología propuesta para realizar de manera automatizada las pruebas de biodegradación anaerobia, como puede verse se ha puesto especial énfasis en la corrección de los problemas de

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

operación que se tenían hasta ahora en la realización manual de estas pruebas. Por lo que respecta a la etapa de *software* se procuró hacerla de fácil operación, aunque considerando que el operador tiene conocimiento previo de la forma de operación de estas pruebas.

## **CAPÍTULO 4**

### **.PRUEBAS AL SISTEMA**

Esta etapa del desarrollo consistió en la realización de distintas pruebas a fin de verificar el comportamiento del sistema de manera cualitativa y cuantitativa, de los datos obtenidos por el sistema automatizado con respecto a pruebas similares desarrolladas con el método manual.

La primera prueba que se efectuó fue para comprobar que el montaje experimental no tuviera fugas, para lo que se monitorearon durante 24 horas las nueve botellas con  $5 \text{ lb/plg}^2$  de aire. En este tipo de pruebas a nivel de laboratorio los niveles de producción de biogás son muy pequeños, por lo que el control de fugas en las botellas es de primordial importancia.

Una vez hecha ésta, se procedió a evaluar el coeficiente de repetibilidad del sistema, que consistió en tratar un efluente de glucosa que es un compuesto fácilmente biodegradable por la vía anaerobia, en nueve botellas que se prepararon bajo condiciones iguales; en cuanto a la cantidad del efluente a tratar, el medio mineral y el lodo de inóculo. La prueba se monitoreó durante 166 horas continuas con un intervalo de muestreo de una hora.

En la gráfica 4.1 se presentan los resultados obtenidos del comportamiento de la producción de biogás durante la prueba, en donde se puede observar que las curvas obtenidas tienen un alto coeficiente de repetibilidad para las mismas condiciones experimentales.

Ya que se había comprobado el funcionamiento del sistema, se procedió a efectuar una prueba de biodegradabilidad para el efluente de una industria farmacéutica, bajo la misma metodología que para el efluente de glucosa. La prueba se realizó para tres cargas diferentes del efluente, además de un testigo con medio mineral y lodo de inóculo, que permite determinar la contribución en la producción de biogás debida a la actividad propia de la biomasa.

La tendencia de resultados, gráfica 4.2, obtenidos son curvas suavizadas crecientes con una región de estabilidad, como las que se suponen en un comportamiento teórico, además de mostrar que a mayor carga se presentaban efectos inhibitorios en la producción.

### Curva de Biodegradabilidad. Efluente de Glucosa

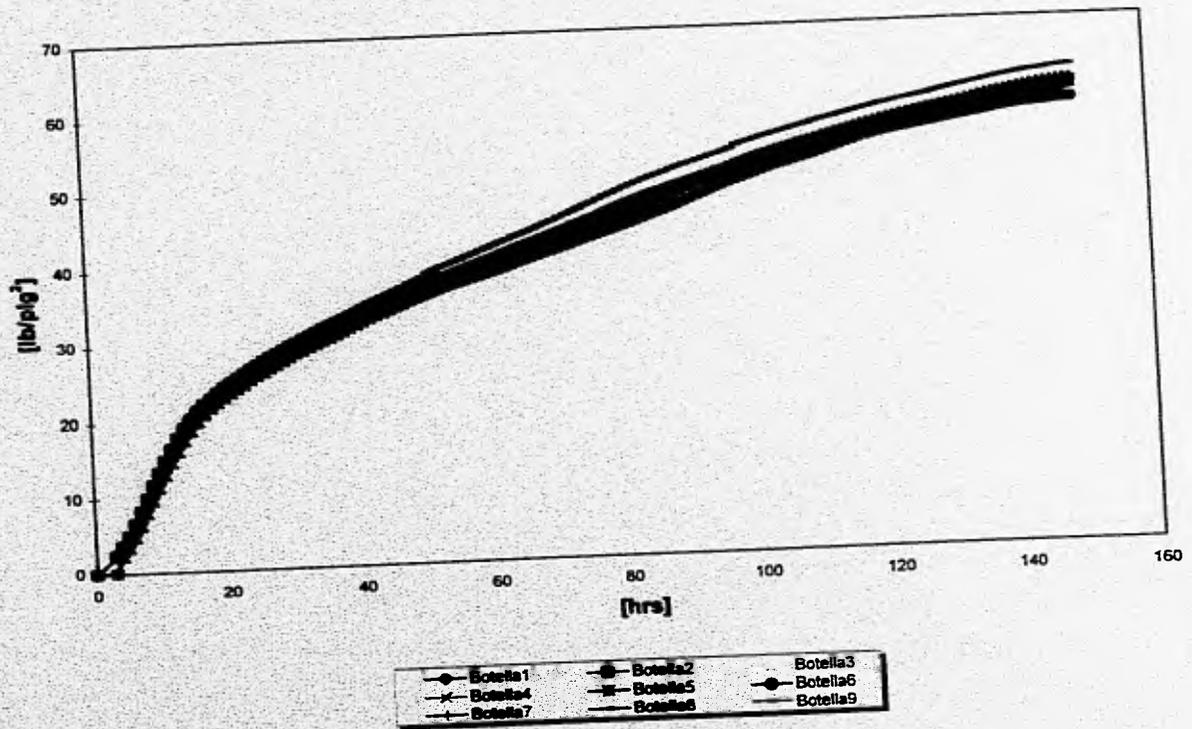


Fig. 4.1 Curva de biodegradabilidad para un efluente de glucosa

### Curva de biodegradabilidad. Efluente de la Industria Farmacéutica

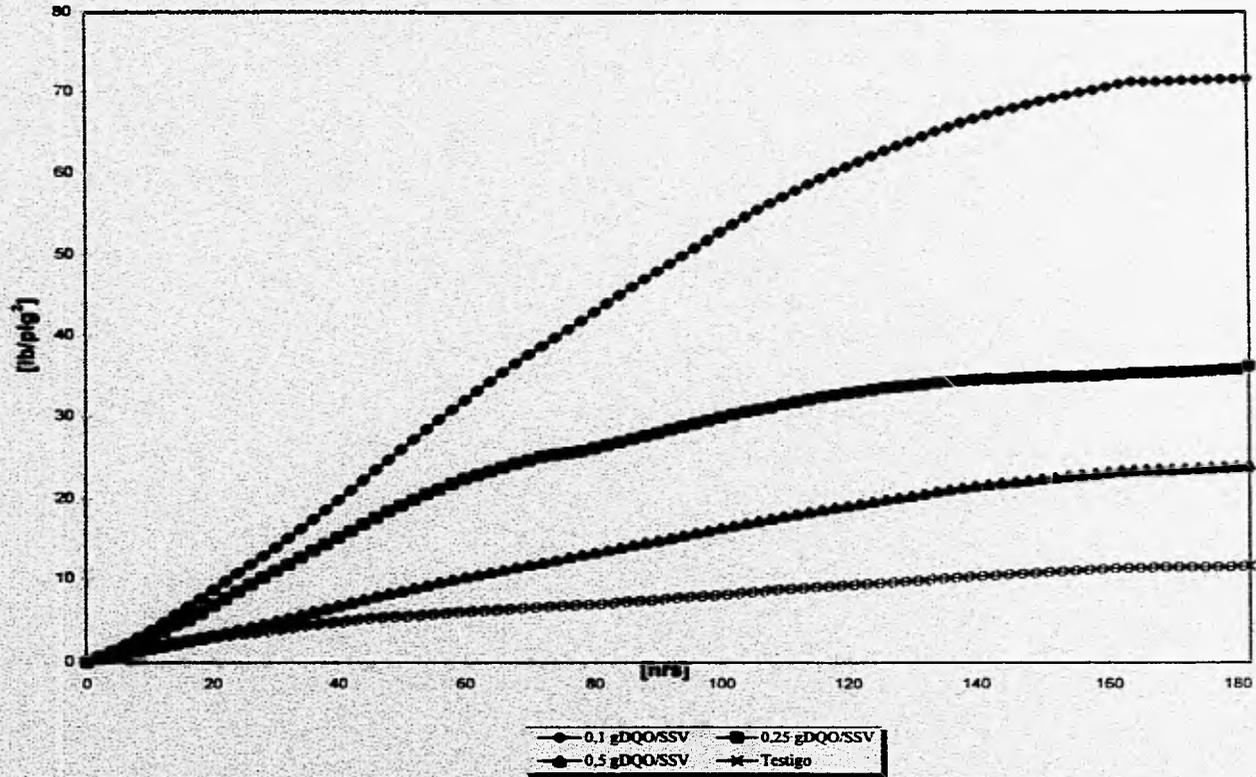
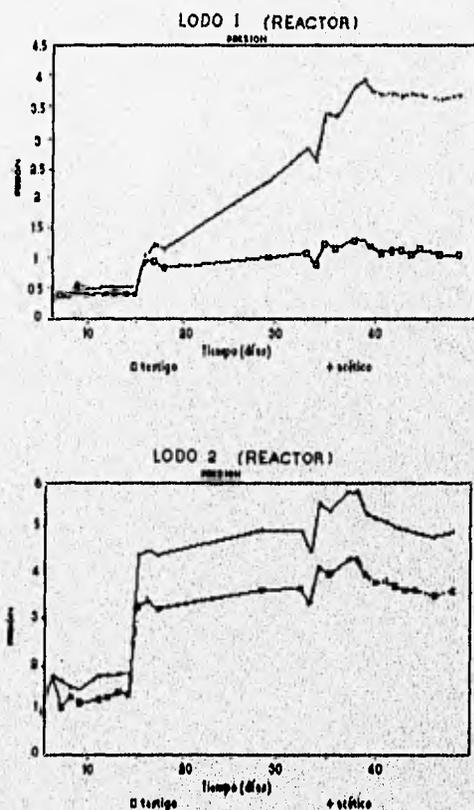


Fig.4.2 Curva de biodegradabilidad para un efluente de la industria farmacéutica.

Para comparar los resultados obtenidos con el sistema automatizado, figuras 4.1 y 4.2, y con el método manual, se muestra dos gráficas obtenidas con el método manual para un efluente de acético para dos diferentes concentraciones, figura 4.3. Se puede observar que el comportamiento de las pruebas desarrolladas manualmente tienen tanto incrementos como decrementos abruptos en la producción de biogás que son producidos por la forma de operación, como ya se ha mencionado a lo largo de esta tesis.

Los comportamientos observados en las gráficas de la figura 4.3, generan un importante problema para el cálculo de la tasa máxima de biodegradabilidad que es el siguiente paso que se sigue, ya que para este cálculo se requiere obtener la pendiente máxima, lo que obliga al operador a escoger la serie de puntos que tenga el comportamiento más estable, y considerar a éstos únicamente para obtener la pendiente máxima.



Gráfica 4.3. Curvas de biodegradabilidad para un efluente de acético desarrolladas con el método manual.

## **RESULTADOS Y CONCLUSIONES**

## Resultados y Conclusiones

El objetivo inicial de esta tesis se cumplió al obtener una prueba confiable y simple que permite de manera automática el monitoreo de una prueba de biodegradabilidad anaerobia, obteniendo mejores resultados de los esperados que superan a los que se habían obtenido hasta ahora en el Instituto de Ingeniería. El trabajo realizado no sólo contribuyó a la automatización de la prueba sino también a la definición de la nueva metodología empleada, cabe mencionar que requirió trabajo en conjunto de la Coordinación de Instrumentación y Bioprocesos Ambientales del Instituto de Ingeniería.

En las pruebas realizadas se pudo comprobar que el sistema automatizado disminuye en mucho las horas hombre empleadas con un mejor registro de la producción de biogás y un muestreo intensivo durante las 24 horas. Se cuenta con resultados preliminares gráficos inmediatos que permiten tomar acciones correctivas en caso de presentarse condiciones desfavorables en la prueba.

La incorporación de la cromatografía en esta prueba ha significado una ventaja sobre otros dispositivos de este tipo, aunque para nuestro caso el método de detección de gases y el cromatógrafo, así como el transductor de presión empleados, fueron estipulados desde el principio del proyecto, debido a que el laboratorio ya contaba con ellos. Lo anterior ha ocasionado que la cromatografía se haya hecho a un lado en las pruebas al sistema, ya que el dispositivo de inyección al cromatógrafo no ha funcionado de manera correcta y la parte medular de la prueba descansa en la cuantificación de la producción de biogás y no en la composición de éste. Aunque el funcionamiento de esta parte se comprobó utilizando inyección manual con una jeringa.

Dentro de las mejoras posteriores que se deben hacer al sistema se requerirá encontrar una solución al problema de cromatografía ó un mejor método alternativo y eficiente como la trampa de metano que se utiliza en la prueba desarrollada por Field, que se menciona en el capítulo I.

El costo del desarrollo del sistema ha sido de un tercio del valor del sistema comercial de características similares, el ANR-100 de la compañía *Challenge Environmental Systems Inc.*, además de poseer mejoras con respecto a éste, como el control automático de agitación y el análisis cromatográfico, pero con el desarrollo de tecnología propia. Este trabajo sienta las bases tanto para la optimización de la prueba como para trabajos de investigación alrededor de estas pruebas de biodegradación anaerobia.

Puede notarse que en los diferentes puntos de este proyecto quedan algunos aspectos que hay que pulir, como el gabinete de la interfase e incluir navegación para el software con sistemas de ayuda. Ya que se había considerado que el operador tenía conocimiento previo de la forma de operación tanto del sistema automatizado, como de este tipo de pruebas. Estos aspectos se decidieron finalizar hasta que el equipo haya pasado por una exhaustiva etapa de prueba y por posibles mejoras que surgan de ésta, además de una nueva signación de presupuesto. Por lo que este trabajo de tesis contempla la primera versión en prototipo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

## Bibliografía

- Allocca, J. (1983) Electronic Instrumentation. Restos Publishing, Virginia USA. 1983.
- Barkakati, N. (1990) Turbo C++ Bible. The Waite Group's, USA. 1990
- Buchla, D. (1992) Applied Electronic instrumentation and Measurement. Macmillan Publishing, USA.
- Cohen A. (1992) Effects of some industrial chemicals on Anaerobic Activity Measured by Sequential Automated Methanometry (SAM). Water Science Technology, 25, 7, 11-20.
- Concannon, F, *et al.* (1988) Development of a Computerized Continuous Assay for Specific Methanogenic Activity Measurement. 3<sup>th</sup> International Symposium of Anaerobic Digestion. Bologna, Italy. 177-181
- Degrémont. (1989) Memento Technique de L'eau. Degrémont, France.
- Harbison, S. & Steele L. Jr. (1991) C a Reference Manual. Prentice Hall, New Jersey USA.
- Hendrix, J. (1987) Small-Windows. A Library of Windowing Functions for the C Language. U&T Publishing, USA.
- Holman, J. (1992) Métodos Experimentales para Ingenieros. Mc Graw Hill, México.
- Iriarte, R. (1990) Métodos Numéricos. Trillas: UNAM Facultad de Ingeniería, México. 269 pp.
- Lettingu, G. & Hulshoff, L. (1991) Application of Modern High Rate Anaerobic Treatment Processes for Wastewater Treatment. Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on New Developments in Industrial Wastewater Treatment. p.p. 33-64. Kluwer Academic publishers, The Netherlands.
- Mc Nair, H. (1981) Cromatografía de Gases. Secretaría General de la Organización de Estados Americanos. Washington, D.C.

- Owen, W, *et al.* (1979) Bioassay for monitoring Biochemical Methane Potential and Anaerobic Toxicity. Water Research, 13, 485-492.
- Ramalho, R. S. (1991) Tratamiento de Aguas Residuales. Reverte, Barcelona España.
- Saval, S.; Noyola A. (1992) Aportaciones de la Biotecnología al Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales. Revista de Biotecnología. 2, 5 y 6, 155-171.
- Shelton D. y Tiedje J. (1984) General Method for Determining Anaerobic Biodegradation Potential. Applied Environmental Microbial, 47, 850-857.
- Smith, W. (1988) Análisis Numérico. Prentice Hall, USA.
- Tran Tien, L. (1987), Electronics of Measuring Systems. John wiley & Sons Publishing, United Kingdom.
- Vázquez Ocampo, J. (1995), Adaptación de una Técnica para determinar la Biodegradabilidad Anaerobia de Aguas Residuales. Tesis Universidad Nacional Autónoma de México.
- Wark, Kenneth Jr. (1994), Termodinámica. Mc. Graw Hill, México.

# **APÉNDICES**

## Apéndice A

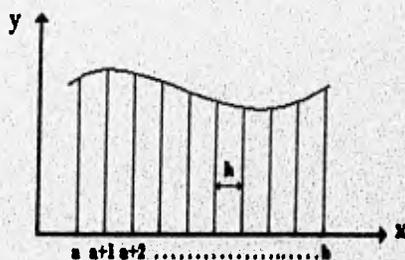
### A-1 Método de Simpson para integración numérica

Siempre que una función no pueda integrarse exactamente o que la valuación de su integral sea demasiado difícil, puede de manera conveniente efectuarse la integración por métodos numéricos.

La aproximación polinomial tiene como idea principal que si  $p(x)$  es una aproximación a  $f(x)$ , entonces:

$$\int_a^b p(x) dx \approx \int_a^b f(x) dx \quad (\text{A.1})$$

El método de Simpson es una fórmula compuesta\* y proviene del uso de segmentos parabólicos como la aproximación a  $f(x)$ . Esta es una de las fórmulas más usadas para la integración numérica.



La aproximación de la Regla de Simpson a la integral es:

$$\int_a^b f(x) dx \approx \frac{h}{3} (f_0 + 4f_1 + 2f_2 + 4f_3 + \dots + 2f_{n-2} + 4f_{n-1} + f_n) \quad (\text{A.2})$$

donde:  $a$  y  $b$  son los límites de integración  
 $h$  es el paso de integración

\* Una fórmula compuesta se obtiene aplicando en forma repetida las fórmulas sencillas para cubrir intervalos más largos. Su uso es más simple que el de un sólo polinomio de alto grado.

## A-2 Método de mínimos cuadrados para regresión lineal

El método de mínimos cuadrados emplea el criterio de ajuste que reside en encontrar una línea recta que mejor se aproxime al comportamiento de los datos, es decir, los parámetros de pendiente  $m$  y ordenada al origen  $b$ , que minimizan la diferencia entre el valor experimental  $y_j$  y el valor de la correlación ( $y^{\wedge}$ ) para un valor dado de la abscisa  $x_j$ .

Se basa en minimizar la suma del cuadrado de las desviaciones. Las ecuaciones para calcular la pendiente y la ordenada al origen son:

$$m = \frac{n(\sum X_j Y_j) - (\sum X_j)(\sum Y_j)}{n(\sum X_j^2) - (\sum X_j)^2} \quad (\text{A.3})$$

$$b = \frac{(\sum Y_j) - m(\sum X_j)}{n} \quad (\text{A.4})$$

El coeficiente de correlación  $r$ , es el parámetro que indica la ventaja del ajuste lineal por encima del valor promedio. Si el coeficiente es cercano a 1 ó -1, señala que la relación entre las variables se representa fielmente mediante una función lineal.

$$r = \frac{n \sum (X_j Y_j) - (\sum X_j)(\sum Y_j)}{\sqrt{(n(\sum X_j^2) - (\sum X_j)^2) (n \sum (Y_j^2) - (\sum Y_j)^2)}} \quad (\text{A.5})$$

donde:  $n$  = número de moles  
 $x_j$  = valor de abscisa dado  
 $y_j$  = valor de ordenada dado

La ecuación resultante para modelar el comportamiento del cromatógrafo es:

$$y = mx + b \quad (\text{A.6})$$

donde:  $y$  = área de pico  
 $x$  = número de moles de la muestra

### A. 3 Ley de los gases ideales

La ecuación de estado del gas ideal permite predecir bastante bien el comportamiento de muchos gases a presiones bajas. Relaciona las variables de presión, volumen, temperatura y la masa para una cierta condición.

$$PV = nRT \quad (\text{A.7})$$

donde: P = presión en la botella leída

V = volumen de la botella en la fase gaseosa

R = cte. universal de los gases ( $0.08205 \frac{\text{atm} \cdot \text{l}}{\text{mol} \cdot ^\circ\text{K}}$ )

T = temperatura en la cámara a temperatura constante ( $^\circ\text{K}$ )

n = número de moles\*

El volumen de la fase gaseosa en la botella se calcula con la siguiente expresión:

$$V = V_{\text{botella}} - V_{\text{líquido}} + V_{\text{conexiones}} \quad (\text{A.8})$$

En el caso de la rutina de calibración para  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$  para hacer la conversión se consideran:

P = presión atmosférica en la Ciudad de México (0.771 atm)

V = volumen del loop de la válvula actuadora (0.5 ml)

T = temperatura ambiente del laboratorio donde se encuentra el cromatógrafo ( $^\circ\text{K}$ )

---

\* Una mol de una sustancia contiene el número de Avogadro de moléculas que corresponde a  $6.023 \times 10^{23}$  moléculas por gramo-mol.

#### A.4 Fracción mol

La composición de una mezcla se especifica, por lo común, en términos de la masa de cada uno de los componentes o bien en términos del número de moles de cada uno de los componentes.

En una mezcla de gases inertes, la masa molar total de la mezcla ( $n_m$ ) es la suma del número de moles de cada uno de los  $k$  componentes. Es decir:

$$n_m = n_1 + n_2 + \dots + n_k = \sum_{i=1}^k n_i \quad (\text{A.9})$$

y la fracción mol ( $X_i$ ) de cualquier componente se define como:

$$X_i = \frac{n_i}{n_m} \quad (\text{A.10})$$

La suma de las fracciones molares en una mezcla gaseosa es igual a la unidad:

$$\sum_{i=1}^k X_i = 1 \quad (\text{A.11})$$

En nuestro caso a partir del número de moles para cada compuesto obtenidas por cromatografía tenemos el número de moles totales para una muestra de 0.5ml que se analiza .

$$n_T = n_{\text{CO}_2} + n_{\text{CH}_4} \quad (\text{A.12})$$

tomando en cuenta al biogás constituido únicamente por sus dos principales constituyentes:

$$1 = X_{\text{CO}_2} + X_{\text{CH}_4} \quad (\text{A.13})$$

por lo que a partir de la definición de fracción mol tenemos:

$$X_{\text{CH}_4} = \frac{n_{\text{CH}_4}}{n_T} \quad (\text{A.14})$$

$$X_{\text{CO}_2} = \frac{n_{\text{CO}_2}}{n_T} \quad (\text{A.15})$$

\* Asumiendo que el biogás sólo está compuesto por estos dos gases principalmente (ver cap. 1.3).

Ahora puesto que la fracción mol para el volumen de la muestra de cromatografía es igual a la fracción mol en el volumen de la fase gaseosa en la botella, se calcula el número de moles totales de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> como sigue:

$$n_{\text{CH}_4\text{tot}} = x_{\text{CH}_4} * n_T \quad (\text{A.16})$$

$$n_{\text{CO}_2\text{tot}} = x_{\text{CO}_2} * n_T \quad (\text{A.17})$$

## Apéndice B

### Estructura de registros de las funciones de la tarjeta PCL-812PG

La tarjeta de adquisición de datos PCL-812 requiere de 16 localidades consecutivas del puerto de entrada-salida del *slot* de expansión. Las direcciones que utiliza la tarjeta determinadas de fábrica tienen como dirección BASE la hex 220.

Para comprender el significado de los 16 registros direccionables desde la dirección BASE del puerto de entrada-salida seleccionado, la tabla 1 muestra la localización relativa de cada registro y su uso.

Localización	Lectura	Escritura
220H BASE +0	Contador 0	Contador 0
+1	Contador 1	Contador 1
+2	Contador 2	Contador 2
+3	No usado	Control del contador
+4	Byte bajo A/D	Byte bajo CH1 D/A
+5	Byte alto A/D	Byte alto CH1 D/A
+6	Byte bajo entrada digital	Byte bajo CH2 D/A
+7	Byte alto entrada digital	Byte alto CH2 D/A
+8	No usado	Limpia llamado de interrupción
+9	No usado	Control de ganancia
+10	No usado	Control del MUX
+11	No usado	Control de modo
+12	No usado	Disparo por software del DAC
+13	No usado	Byte bajo de salida digital
+14	No usado	Byte alto de salida digital
+15	No usado	No usado

## Apéndice C

### Listado del Programa en Lenguaje Turbo C++

```

#include <graphics.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <conio.h>
#include <dos.h>
#include <time.h>
#include <math.h>
#include <dir.h>
#include "c:\p\table\menu.lib"
#define ESC'033'
#define TIMER_TICK 0x1c
typedef unsigned int PARAM[60];
typedef unsigned char DATAC[100];
typedef unsigned char far * DATC;
typedef unsigned int DATA[100];
typedef unsigned int far * DATI;

/* Definición de todas las funciones del programa */
void prueba();
void quehaceres();
int selecciona(int i,int j);
void prueba_nueva(int j);
void leer_archivo_param(int i);
int copia_archivo(int drive,int copiar);
void leer_reporte(int preomol,int cualtoca);
void graficar(int cualtoca);
void selecciona_submenu(int j,int p);
void pantalla_param3(int a,int p);
int regresion(int p,int muestras,float volumen[10],float lectura[10]);
void uno();
void unovalvs();
void unoAH();
void dos();
void tres(int onoff);
void tresvalvs(int cualtoca,int purga);
void tresAH(int cualtoca);
void leer_pres1();
void leer_pres2();
float leer_pres3();
void leer_temp1();
void leer_temp2();
float leer_temp3();
void write_file1(char ex[4],int unootro,int cualtoca);
void write_file2(int tmuestreo);
void write_file3(int tmuestren);
void write_file4();
void write_multif(float D[]);
void leer_gas1();
void leer_gas2();
void leer_gas3();
void picoC114();
void picoCO2();
void area(int g);
void interpola();
void fin();

```

```

/* Definición de variables globales para las funciones de la tarjeta de adquisición */
extern pcb12(int, unsigned int *);
static PARAM paramp;
DATA1 ddata1;
DATA2 ddata2;
DATA3 ddata3;
DATA4 ddata4;
DATA5 ddata5;

/* Definición de variables globales para el programa */
static long parametros[6], lparam[11], elapsed=-1;
static float DP[10], areas[100], param_cromatografo[4];
static int no_viales=0, cual=0;
static char archivo[9]="pitas", nombre[15];
static time_t first;
static float lecturas[6];
static int no_muestra[11], haz[4], accion=1, k=0, l=0;
int c, c2;

/* parametros de prueba y tiempos de paro */
/* presion acumulada, calibracion CH4 y CO2 */
/* nombre de los archivos de reportes */
/* tiempo de inicio de la prueba */
/* registro de presion temperatura */
/* registro de conteo de muestra */

main()
{
    int xmax, ymax, i=0, p, x, y, j=0, inicio;
    int graphdriver=DETECT, graphmode;
    initgraph(&graphdriver, &graphmode, "c:\tc\lbg1");

    pantalla_inicial();
    while(c2!=500)
    {
        while(kbhit()){prueba(), quehaceres(); c=getch();}
        if(c==68) /* F10 activa lns menus */
        do {
            i=flecha_horizontal(i, c2);
            while(kbhit()){prueba(), quehaceres(); c=getch();}
            if(c==0){c=13}
            if(c==0){c2=getch();}
            do {
                if(c==(i&& c2==13){c=13}{c2=80;} /* aparece lista con RET y flecha */
                do {
                    p=0;
                    switch(c2){
                        case(77):{ /* cursor a la derecha */
                            i=flecha_horizontal(i, c2);
                            break;
                        }
                        case(75):{ /* cursor a la izquierda */
                            i=flecha_horizontal(i, c2);
                            break;
                        }
                        case(80):{ /* aparece lista */
                            c2=flecha_vertical(i, j, c2);
                            if(c-->77){c2-->77}{pantalla_inicial(); c=1; c2=80; i=(i+1)%5; p=1;}
                            if(c==75){c2==75}{pantalla_inicial(); c=0; c2=80; i=(i-1)%5; p=1; if(i<0){i=4;}
                            break;
                        }
                    }
                } while(p==1); /* para que se mueva lista con flecha */
                if(c==0&& c2==68&& c2==45&& c2==ESC){while(kbhit()){prueba(), quehaceres(); c2=getch();}
                while(c1=ESC && c==0 && c2=ESC && c2!=45 && c2!=68);
            }
            if(c==ESC){c2==ESC}{pantalla_inicial();}
        } while(c==0&& c2==68) /* cierra F10 */
        if(c==ESC)pantalla_inicial(); c=0; /* c=0 para romper la condicion si no se ha optimido otra tecla */
    }
    closegraph();
    return;
}

```

/\* Rutina que llama la operación seleccionada en el menú pom es para escoger el reporte a leer, presión o /\* moles cualoca es para escoger la botella a leer reporte \*/

```
int selecciona(int i,int j)
{
    int p, p1, cualoca, pom, drive;
    int p=0, /*regresa al control principal en caso de submenú */
    char bn[7];

    switch(i){
        case(0):{ /* menú de archivo */
            switch(j){
                case(1):{ /* opción leer */
                    pantalla_param125(7); /* moles presión */
                    pom=param_cualoca();
                    if(pom==1:5C)break;
                    while(!kbhit()){prueba();quehaceres();}
                    getch(); /* permite ver la selección */
                    pantalla_param125(6); /* cual botella */
                    do{
                        cualoca=leer_parametro();
                    }while(cualoca<1||cualoca>9||cualoca==5099); /* no viales */
                    if(cualoca==5099)break;
                    leer_reporte(pom,cualoca);
                    break;
                }
                case(2):{ /* opción copiar */
                    pantalla_param125(8); /* drive */
                    drive=param_drive();
                    if(drive==1:5C)break;
                    while(!kbhit()){prueba();quehaceres();}
                    getch(); /* permite ver la selección */
                    pantalla_param125(9); /* cual archivo */
                    pom=copiar_archivo(drive,1);
                    break;
                }
                case(3):{ /* opción borrar */
                    pantalla_param125(10); /* cual archivo */
                    pom=copiar_archivo(drive,0);
                    break;
                }
                case(4):{p=salir(1); break}
            }
            break;
        }
        case(1):{ /* menú de prueba */
            switch(j){
                case(1):{ /* prueba nueva */
                    prueba_nueva();
                    pantalla_inicial();
                    break;
                }
                case(2):{prueba_nueva();break;}
                case(3):{ /* arrancar prueba */
                    cur=0;
                    llst=llme(NULL);
                    if(parametros[0]==0){tparo[0]=0;tparo[1]=0;tparo[2]=0;} /*tiempos para presión-temperatura*/
                    else {
                        tparo[0]=(parametros[0]*60); /*resaldo*/
                        tparo[1]=tparo[0]; /*ON valva*/
                        tparo[2]=tparo[1]+20; /*citrco.purga*/
                    }
                    if(parametros[1]==0){ /*tiempos para cromatografía*/
                        tparo[3]=0;tparo[4]=0;tparo[5]=0;
                        tparo[6]=0;tparo[7]=0;tparo[8]=0;
                    }else {
                        tparo[3]=(parametros[1]*60); /*aci load*/
                    }
                }
            }
        }
    }
}
```

```

        if(tparo3]==(paro0))
        tparo3]+=(40*no_viales)+8;
        tparo4]=tparo3]+3; /*act inject*/
        tparo5]=tparo4]+87; /*comienza lee C14*/
        tparo6]=tparo5]+63; /* fin de lee C14*/
        tparo7]=tparo6]+30; /* comienza lee CO2*/
        tparo8]=tparo7]+80; /* fin de lee CO2*/
    }
    if(parametros[5]==0){
        moveto(200,200);
        outtext("ERROR EN DIRACCION DE PRUEBA!!");
        getch();
    }else{ tparo9]=(parametros[5]*60); /* fin prueba*/
        break;
    }
}
case(2):{
    switch(){
        case(1): /* cambio de nombre de archivo */
            pantalla_param125();
            param_archivo(1);
            leer_archivoparam(2);
            break;
        }
        case(2): /* cambio de parametro presion */
            pantalla_param125();
            p_p=leer_parametro();
            if(p_p==5099)return(p);
            parametros[0]=p_p;
            leer_archivoparam(2);
            break;
        }
        case(3): /* submenu de gases j es menu p es submenu */
            p=submenu(1);
            selecciona_submenu(j,p);
            break;
        }
        case(4): /* submenu uglitacion */
            p=submenu(1);
            selecciona_submenu(j,p); /******/
            break;
        }
        case(5): /* cambio de tiempo de duracion */
            pantalla_param125();
            t_t=leer_parametro();
            if(t_t==5099)return(p);
            parametros[5]=t_t*60;
            tparo9]=(parametros[5]*60);
            leer_archivoparam(2);
            break;
        }
        case(6): /* ver los parametros j=2 igual a continuar*/
            prueba_nueva(2);
            break;
        }
    } /*cierra switch()*/
    break;
}
case(3): /* graficar */
    switch(){
        case(1):
            do{pantalla_param125(6); cualtoca=leer_parametro();
                }while((cualtoca<1)&&(cualtoca>9)&&cualtoca==5099); /*no viales*/
            if(cualtoca==5099)break;
            graficar(cualtoca);
            break;
    }
}

```

```

        break;
    }
    case(4) {break;}
}
pantalla Infclal();
return(p);
}

/*Rutina que selecciona las acciones para los submenús*/
void selecciona_submenu(int j,int p)
{
    int p_c,p_ta,p_fa,p_va,muestras,l,o,sigo;
    float volumen[10],lectura[10];
    float tres[3];
    switch(j){
        case(3): /* cambio de parametros gases */
            switch(p){
                case(0): /* cambio muestreo gases */
                    pantalla_param125('m');
                    p_c=leer_parametro();
                    if(p_c==5099)return;
                    parametros[1]=p_c;
                    leer_archivoparam(2);
                    break;

                case(1): /* cambio parametros Integracion */
                    pantalla_param3[1][1];
                    leer_archivoparam(2);
                    break;

                case(2): /* | calibracion de metano */
                    do { /* loop hasta aceptar curva */
                        muestras=pantalla_calibramuestras(1);
                        if(muestras==0)return;
                        for(i=0;i<muestras;i++){
                            for(o=0;o<3;o++){
                                volumen[i]=pantalla_calibrinyecta(i,muestras,l,o);
                                if(volumen[i]==5099)return;
                                tres[o]=cromatografo_calibra(1);
                            }
                            lectura[i]=(tres[0]+tres[1]+tres[2])/3; /*promedio*/
                        }
                        sigo=regresion(1,muestras,volumen,lectura);
                    } while(sigo=='n' || sigo=='N');
                    break;

                case(3):
                    do { /* loop hasta aceptar curva */
                        muestras=pantalla_calibramuestras(2);
                        if(muestras==0)return;
                        for(i=0;i<muestras;i++){
                            for(o=0;o<3;o++){
                                volumen[i]=pantalla_calibrinyecta(2,muestras,l,o);
                                if(volumen[i]==5099)return;
                                tres[o]=cromatografo_calibra(2);
                            }
                            lectura[i]=(tres[0]+tres[1]+tres[2])/3; /*promedio*/
                        }
                        sigo=regresion(2,muestras,volumen,lectura);
                    } while(sigo=='n' || sigo=='N');
                    break;

                case(4): /* cambio de parametros de agitación */
                    switch(p){

```

```

case(0):{ /* cambio intervalo de agitacion */
    pantalla_param125('I');
    p_la=leer_parametro();
    if(p_la==5099)return;
    parametros[3]=p_la;
    leer_archivoparam(2);
    break;
}
case(1):{ /* cambio forma de agitacion */
    pantalla_param125('F');
    p_fa=param_formagit();
    if(p_fa==ESC)return;
    while(!kbhit()){prueba();quehaceres();}
    getch(); /* permite ver la seleccion */
    parametros[2]=p_fa;
    leer_archivoparam(2);
    break;
}
case(2):{ /* cambia velocidad de agitacion */
    pantalla_param125('V');
    p_va=param_velagit();
    if(p_va==ESC)return;
    while(!kbhit()){prueba();quehaceres();}
    getch(); /* permite ver la seleccion */
    parametros[4]=p_va;
    leer_archivoparam(2);
    break;
}
}
break;
return;
}

/* Rutina que lee archivo de reporte de presion y moles y lo despliega*/
void leer_reporte(int preomol,int cualoca)
{
    int N,r=0,ymax;
    float T,DP,PA,TEMP;
    char *p,buf[100],
    FILE *fp;

    ymax=getmaxy();
    setviewport(15,(7,415,ymax-(textheight("I")+30),1);
    if(preomol=="p"||preomol=="P"){
        write_file("pre",l,cualoca);
        p=searchpath(nombre); /* busca que este el archivo a leer */
        moveto(80,10);
        outtext("Reporte de Presion: ");
        outtext(nombre);
        outtext("No. Horas DP[psig] SA[psig] °C");
    }
    if(preomol=="m"||preomol=="M"){
        write_file("mol",l,cualoca);
        p=searchpath(nombre); /* busca que este el archivo a leer */
        moveto(80,10);
        outtext("Reporte de Moles: ");
        outtext(nombre);
        outtext("No. ntotales nC10 nCO2");
    }
    if(p==NULL){
        moveto(120,100);
        outtext("NO EXISTE ARCHIVO!!!");
        while(!kbhit()){prueba();quehaceres();} getch();
        return;
    }
}

```

```

while(!feof(fp)) /* lee datos para encontrar los maximos */
  r=(r+1)%22; if(r==0)r=1;
  moveto(10,(10+textheight("I")*(r+1));
  fscanf(fp,"%d %d %d %d",&N,&I,&O,&PA,&TEMP);
  sprintf(buf,"%d",N);outtext(buf);
  if(I<10)moveto(10+textwidth("I")*9,getc());
    else if(I<100) moveto(10+textwidth("I")*8,getc());
    else if(I<1000) moveto(10+textwidth("I")*7,getc());
  sprintf(buf,"%d",I);outtext(buf);
  if(DP<10) moveto(10+textwidth("I")*19,getc());
    else if(DP<100) moveto(10+textwidth("I")*18,getc());
    else if(DP<1000) moveto(10+textwidth("I")*17,getc());
  sprintf(buf,"%d",DP);outtext(buf);
  if(PA<10)moveto(10+textwidth("I")*32,getc());
    else if(PA<100) moveto(10+textwidth("I")*31,getc());
    else if(PA<1000) moveto(10+textwidth("I")*30,getc());
  sprintf(buf,"%d",PA);outtext(buf);
  if(TEMP<10)moveto(10+textwidth("I")*43,getc());
    else if(TEMP<100) moveto(10+textwidth("I")*42,getc());
    else if(TEMP<1000) moveto(10+textwidth("I")*41,getc());
  sprintf(buf,"%d",TEMP);outtext(buf);
  if(r==21){
    while(!kbhit()){prueba();quehaceres();} c=getch();
    bar(9,textheight("I")+28,390,ymax-(textheight("I")+50));
  }
} /* cierra fichero */
fclose(fp);
else {moveto(120,100);outtext("ERROR EN REPORTES!!!");
while(!kbhit()){prueba();quehaceres();} getch();
cleardevice();
return;
}

/* Rutina que copia un archivo a cualquier drive */
int copiar_archivo(int drive,int copbor)
{
char *p,comando1[30]="copy ",comando2[30]="del ";
int f;

f=param_archivo(2);
if(f==1:SC)return 0;
p=searchpath(nombre); /* busca que este el archivo a leer */
if(p==NULL){
  moveto(200,200);
  outtext("NO EXISTE ARCHIVO!!!");
  while(!kbhit()){prueba();quehaceres();} getch();
  return 0;
}
if(copbor==1){
  strcpy(comando1,nombre);
  if(drive=="a"||drive=="A"){strcpy(comando1," a.");}
  else if(drive=="b"||drive=="B"){strcpy(comando1," b.");}
  }if(system(comando1)==-1){moveto(200,200);outtext("NO SE COPIO ARCHIVO!!!");
}
if(copbor==0){
  strcpy(comando2,nombre);
  if(system(comando2)==-1){moveto(200,200);outtext("NO SE COPIO ARCHIVO!!!");
  else {moveto(200,200);outtext("ARCHIVO ");outtext(nombre);outtext(" BORRADO."); }
}
pantalla_inicial();
return 1;
}

```

```

/* Rutina para iniciar prueba (j=1), y para continuar prueba(j=2) */
void prueba_nueva(int j)
{
  FILE *fp;
  char bastra[13],agit[13],velocid[10],buf[10],vial[10],auxiliar[10];
  int viales,p_a,p_va,p_fa,p_ta,p_pp,c1,t,r;
  int no_letras[8]={10,21,41,39,34,31,46,29},xmax,y,max;

  cleardevice();
  xmax=getmaxx();
  ymax=getmaxy();
  setviewport(75,35,xmax-75,ymax-35,1);
  /* j=1 es prueba nueva, j=2 es continuar prueba */
  if(j==2) leer_archivoparam(1); /* lee los parametros de param.prm */
  /* Escribe leyendas y parametros en caso de continuar prueba */
  for(r=0;r<8;r++){
    moveto(10,35+44*r);
    switch(r)
    case(0): outtext("Archivo: "); if(j==2)outtext(archivo);
    case(1): outtext("Numero de botellas: "); if(j==2){sprintf(buf,"%d",no_viales);outtext(buf);}
    case(2): outtext("Intervalo de muestreo de presión [min]: ");
      if(j==2){sprintf(buf,"%d",parametros[0]);outtext(buf);}
    case(3): outtext("Intervalo de muestreo de gases [min]: ");
      if(j==2){sprintf(buf,"%d",parametros[1]);outtext(buf);}
    case(4): outtext("Agitación ");
      setcolor(LIGHTRED);outtext("C");
      setcolor(YELLOW);outtext("continua");
      setcolor(LIGHTRED);outtext("I");
      setcolor(YELLOW);outtext("Interrumpida: ");
      if(j==2){if(parametros[2]=="c"||parametros[2]=="C") outtext("Continua");
        if(parametros[2]=="i"||parametros[2]=="I") outtext("Interrumpida");}
    case(5): outtext("Intervalo de agitación [min]: ");
      if(j==2){sprintf(buf,"%d",parametros[3]);outtext(buf);}
    case(6): outtext("Velocidad de agitación ");
      setcolor(LIGHTRED);outtext("L.");
      setcolor(YELLOW);outtext("Entia ");
      setcolor(LIGHTRED);outtext("M");
      setcolor(YELLOW);outtext("Mediana ");
      setcolor(LIGHTRED);outtext("R");
      setcolor(YELLOW);outtext("Rápida: ");
      if(j==2){if(parametros[4]=="l"||parametros[4]=="L"){outtext("L. entia");}
        if(parametros[4]=="m"||parametros[4]=="M"){outtext("Mediana");}
        if(parametros[4]=="r"||parametros[4]=="R"){outtext("Rápida");}
      }
    case(7): outtext("Duración de la prueba [hr]: ");
      if(j==2){sprintf(buf,"%d",parametros[5]/60);outtext(buf);}
      moveto(65,getY()+47);
      outtext("<<<Presione cualquier tecla para continuar>>>");
      moveto(66,getY());
      outtext("<<<Presione cualquier tecla para continuar>>>");
      while(!kbhit()){prueba();quehaceres();} getch();
      cleardevice(); /* Limpia la pantalla completa */
  }
  if(j==2){ /*(2) solo muestra los datos */
    pantalla_param3(2,1); /* parametros de integracion */
    pantalla_param3(2,2); /* parametros de calibracion de CH4 */
    pantalla_param3(2,3); /* parametros de calibracion de CO2 */
  }
  if(j==1){ /* 1. lee parametros */
    for(r=0;r<8;r++){
      cursor_intermitente((textwidth("I")*no_letras[r])+2,35+44*r);
      setcolor(YELLOW);
      switch(r)
        case(0): p_a=param_archivo(1),if(p_a==F5C)rceturn;

```

```

case(1){viales=leer_parametro();if(viales==5099)return;}
case(2){p_p=leer_parametro();if(p_p==5099)return;}
case(3){p_c=leer_parametro();if(p_c==5099)return;}
case(4){p_fa=param_formagit();if(p_fa==ESC)return;}
case(5){p_la=param_tiempoagit(p_fa);if(p_la==5099)return;}
case(6){p_va=param_velagit();if(p_va==ESC)return;}
case(7){l_l=leer_parametro();if(l_l==5099)return;}
} /* cierra for */
no_viales=viales;
parametros[0]=p_p;
parametros[1]=p_c;
parametros[2]=p_fa;
parametros[3]=p_la;
parametros[4]=p_va;
parametros[5]=(l_l*60);
no_muestra[0]=0; /*inicializa el consecutivo de reportes de gas*/
no_muestra[1]=0; /*inicializa el consecutivo de reportes de mol */
cual=0; /*inicializa la botella en turno */
for(r=1;r<10;r++){
  DP[r]=0.0; /*inicializa el acumulado de presion*/
  no_muestra[r]=0; /*inicializa el consecutivo de reportes de gas */
  hola(r,vial,10);
  strcpy(auxiliar,"dppg");
  strcat(auxiliar,vial);
  strcat(auxiliar,".cel");
  fp=fopen(auxiliar,"w+"); /*inicializa reporte para graficar delta presion*/
  if(fp==NULL.1.){outtext("ERROR INICIALIZANDO ARCHIVO!");putch(7);return;}
  fclose(fp);
  strcpy(auxiliar,"nmipp");
  strcat(auxiliar,vial);
  strcat(auxiliar,".cel");
  fp=fopen(auxiliar,"w+"); /*inicializa reporte para graficar delta presion*/
  if(fp==NULL.1.){outtext("ERROR INICIALIZANDO ARCHIVO!");putch(7);return;}
  fclose(fp);
}
} /* cierra h(j-1)*/
h(j)=1;leer_archivoparam(2); /*Escribe los parametros en param.prm en caso de prueba nueva */
pantalla_inicial();
return;
}

/* Rutina para graficar las curvas de acumulacion de presion con tres */
/* escalas para el numero de datos y para el valor maximo a graficar*/
void graficar(int cualitoca)
{
  FILE *fp;
  int esxy,labelx,labely,lastx,lasty=225;
  float y=0.0,x=0.0,xmax=0.0,ymax=1.0,range=1;
  char *p,buf[10],auxiliar[11]="dppg",vial[10];
  hola(cualitoca,vial,10);
  strcat(auxiliar,vial);
  strcat(auxiliar,".cel");
  p=searchpath(auxiliar); /* busca que este el archivo a graficar */
  if(p==NULL.1.){
    moveto(200,200);outtext("NO EXISTE ARCHIVO!!!");
    while(kbhit()){prucha();quehaceres();} getch();
    return;
  }
  fp=fopen(auxiliar,"r");
  if(fp!=NULL.1.){
    while(!feof(f)) /* lee datos para encontrar los maximos*/
      fscanf(fp,"%f %f",&x,&y);
      if(x>xmax)xmax=x;
      if(y>ymax)ymax=y;
  }
}

```

```

if(xmax==0){moveto(200,200);outtext("ARC"IVV() SIN DATOS!!!");
while(kbhit()){prueba();quehaceres(i); getch();
return;
}
xmax=10; /* asignación de escala en x */
if((350/xmax)>1){labelx=1;} /* horas */
else if((350/(xmax/24))>1){labelx=2;} /* dias */
else if((350/(xmax/7))-1){labelx=3;} /* semana */
ymax=10; /* asignación de escala en y */
if(ymax<=50)escy=5; /* 5 pslg */
else if(ymax<=100)escy=10; /* 10 pslg */
else if(ymax<=200)escy=20; /* 20 pslg */
else if(ymax<=500)escy=50; /* 50 pslg */
else if(ymax<=1000)escy=100; /* 100 pslg */
else if(ymax>1000){escy=0;moveto(200,200);outtext("ERROR EN DATOS!!!");}
outtextxy(3,1,"pslg"); /* marca en eje y */
switch(escy){
case(5):outtextxy(7,24,"5");yrange=4;break;
case(10):outtextxy(7,24,"10");yrange=2;break;
case(20):outtextxy(7,24,"20");yrange=1;break;
case(50):outtextxy(7,24,"50");yrange=0.4;break;
case(100):outtextxy(1,22,"100");yrange=0.2;break;
}
outtextxy(170,222,"T");
outtextxy(164,235,"35");
switch(labelx){ /* para marcas de eje en x */
case(1):outtextxy(165,235,"hr");break;
case(2):outtextxy(165,235,"dia");break;
case(3):outtextxy(165,235,"semana");break;
}
rewind(fp);
while(!feof(fp)==0){ /* lee datos para graficarlos */
fscanf(fp,"%f %d",&x,&y);
x*=10;
switch(labelx){
case(1):x*=1;break; /* horas */
case(2):x/=24;break; /* dias */
case(3):x/=(24*7);break; /* semanas */
}
y*=10;
y=225-(int)(y*yrange); /* 25 de margen del viewport */
x+=25; line(lastx,lasty,x,y); lastx=x; lasty=y;
}
fclose(fp);
}else {moveto(200,200);outtext("ERROR EN DATOS!!!");
while(kbhit()){prueba();quehaceres(i); getch();
cleardevicet();
return;
}
}
/* Rutina que hace la regresión lineal por el metodo de mínimos cuadrados */
/* hace conversión de volumen (x) a moles con la temperatura °C en lectura[5] */
/* presión en atmosferas, temp en kelvin y R en atm*(l)/ro/mol*K */
int regresion(int n,int muestras,float x[10],float y[10])
{
int i,c;
float SXY=0,SX=0,SY=0,SX_2=0,SY_2=0,li=0,M=0,corre=0,dca=0,Patm=0.771;
float R=0.08205; /* cte de los gases */
lecturas[5] += 272.5; /* temperatura en kelvin */
for(i=0;i<muestras;i++){
x[i]=(Patm*x[i])/(R*lecturas[5]); /* conversión de x en moles */
SXY += (x[i]*y[i]); /* suma de x por y */
SX += x[i]; /* suma de x's */
SY += y[i]; /* suma de y's */
}
}

```

```

SX_2+=x[i]*x[i]; /* suma de x's cuadrada */
SY_2+=y[i]*y[i]; /* suma de y's cuadrada */
}
if((muestras*SX_2-SX*SX)!=0){
M=(muestras*SXY-SX*SY)/(muestras*SX_2-SX*SX); /* pendiente */
B=(SY-M*SX)/muestras; /* ordenada */
den=((muestras*SX_2)-(SX*SX))*((muestras*SY_2)-(SY*SY));
if(den>0) corre=((muestras*SXY)-(SX*SY))/sqrt(den); /* coeficiente de correlacion */
else corre=-0.1; /* en caso de raiz compleja */
}
c=pantalla_calibracepta(corre,p); /* aceptacion de la curva, c/coef.corre*/
if(c=='s'){c=='S'}
if(p==1){param_cromatografo[0]=M;param_cromatografo[1]=B;}
if(p==2){param_cromatografo[2]=M;param_cromatografo[3]=B;}
leer_archivoparam(2); /* escribe los nuevos valores de B y M */
}
return(c);
}

/* Rutina que lee los parametros del archivo param prm */
void leer_archivoparam(int i)
{
int h;
char basura[13],agit[13],velocid[10],numi[9];
FILE *fp;

if(i==1){
fp=fopen("param.prm","r");
fscanf(fp,"%s %s",basura,archivo);
fscanf(fp,"%s %d",basura,&parametros[0]);
fscanf(fp,"%s %s %d",basura,basura,&parametros[1]);
fscanf(fp,"%s %s %s",basura,basura,agit);
fscanf(fp,"%s %d",basura,&parametros[3]);
fscanf(fp,"%s %s",basura,basura,velocid);
fscanf(fp,"%s %d",basura,&parametros[5]);
fscanf(fp,"%s %s %d",basura,basura,&param_integracion[0]);
fscanf(fp,"%s %s %d",basura,basura,&param_integracion[1]);
fscanf(fp,"%s %s %d",basura,basura,&param_cromatografo[0]);
fscanf(fp,"%s %d",basura,&param_cromatografo[1]);
fscanf(fp,"%s %d",basura,&param_cromatografo[2]);
fscanf(fp,"%s %d",basura,&param_cromatografo[3]);
fscanf(fp,"%s %d",basura,&no_muestra[0]);
for(h=1;h<10;h++){fscanf(fp,"%s %d",basura,&no_muestra[h]);}
fscanf(fp,"%s %d",basura,&no_muestra[10]);
for(h=1;h<10;h++){fscanf(fp,"%s %d",basura,&DP[h]);} /*acumulado de presion*/
fscanf(fp,"%s %d",basura,&no_viales);
fscanf(fp,"%s %d",basura,&cual);
fclose(fp);
parametros[2]=agit[0];
parametros[4]=velocid[0];
}

if(i==2){
fp=fopen("param.prm","w");
fprintf(fp,"Archivo: %s\n\n",archivo);
fprintf(fp,"Presión: %d [min]\n\n",parametros[0]);
fprintf(fp,"Gases: %d [min]\n\n",parametros[1]);
if(parametros[2]==0){parametros[2]==1} fprintf(fp,"Agitación: Continua\n\n");
if(parametros[2]==1){parametros[2]==1} fprintf(fp,"Agitación: Interrumpida\n\n");
fprintf(fp,"Agitación: %d [min]\n\n",parametros[3]);
if(parametros[4]==1){parametros[4]==1} fprintf(fp,"Agitación: Lenta\n\n");
if(parametros[4]==2){parametros[4]==2} fprintf(fp,"Agitación: Mediana\n\n");
if(parametros[4]==3){parametros[4]==3} fprintf(fp,"Agitación: Rápida\n\n");
fprintf(fp,"Trucha: %d [min]\n\n",parametros[5]);
fprintf(fp,"Tubo: %d [V]\n\n",param_integracion[0]);
}

```



```

case(3): { if(tparo[9]!=0)
            if(elapsed==iparo[9]) salu(1);
            break;
        }
return;
}

/* Rutina que se encarga del monitoreo de variables */
void quehaceres()
{
switch(accion){
case(1): { /*presion y da turno a gas */
            switch(haz[1]){
case(0): {accion=2;break;} /* turno a gas */
case(1): { /*OFF valvs y purga para ON valvs sig*/
                if(cual=1){
                    unovalvs();dos();tresvalvs(0,0); /*OFF valvs*/
                    if(cual<=4){unoAB();dos();tresAB(0);} /*OFF valvsAB*/
                    uno();dos();tres(0); /*OFF purga*/
                }
                unovalvs(0);dos();tresvalvs(cual,0); /*ON valvs*/
                if(cual<=4){unoAB();dos();tresAB(cual);} /*ON valvsAB*/
                haz[1]=0;
                break;
            }
case(11): { /*fin ciclo OFF valvs,OFF purga*/
                unovalvs();dos();tresvalvs(0,0); /*OFF valvs*/
                unoAB();dos();tresAB(0);
                uno();dos();tres(0); /*OFF purga*/
                break;
            }
case(2): {leer_pres1();leer_pres2();lecturas[0]=leer_pres3();haz[1]=3;
case(3): {leer_temp1();leer_temp2();lecturas[1]=leer_temp3();
                write_file1("pre",f,cual);write_file2(parametros[0]);write_moltot(DP[cual]);
                haz[1]=4;
                break;
            }
case(4): {if(cual>=5){uno();dos();tres(1);}
                else{uno();dos();tresvalvs(cual,1);} /*ON purga, valvs 1-4*/
                haz[1]=0;
                break;
            } /*valor*/
            }
break;
} /*cierra case 1 de accion*/

case(2): { /*gas y da turno a agitacion */
            switch(haz[2]){
case(0): {accion=3;break;} /*turno a agitacion*/
case(1): {uno(); dos(); tres(2); haz[2]=0; break;} /*load*/
case(2): {uno(); dos(); tres(4); haz[2]=0; break;} /*Inject*/
case(3): {leer_gas1(); leer_gas2();leer_gas3(); picoC14(); break;} /*Inl. C14*/
case(4): {area(1); haz[2]=0; l=0; k=0; lecturas[2]=0; break;} /*fin de C14*/
case(5): {leer_gas1(); leer_gas2(); leer_gas3();delay(100);picoC14();break;}
case(6): {area(2); l=0; k=0; lecturas[2]=0; haz[2]=7; break;} /*calcula area*/
case(7): {interpota();write_file1("gas",0,0);write_file3(parametros[1]);
                write_file4();haz[2]=0;break;
            }
            } /* cierra switch haz 2 */
break;
} /* cierra case 2 de accion */

case(3): { /*fin de prueba */
            switch(haz[3]){
case(0): {accion=1; break;} /*turno a presion*/

```

```

        case(1){fin(),break;}
    }
    break;
} /* cierra case3 de accion */
} /* cierra switch accion */

/* Rutina de asignacion de parametros para ON-OFF purga */
/* y actuador en el pto. 0 */
void uno()
{
    datd=datad;
    paramp[0]=0;
    paramp[1]=0x220;
    paramp[33]=FP_OFF(datd);
    paramp[34]=FP_SEG(datd);
    paramp[35]=0;
    paramp[36]=0;
    paramp[37]=1;
    paramp[38]=0;

    pci812(3, paramp);
    if(paramp[45]!=0){ moveto(200,200); outtext(" ERROR INICIALIZANDO TARJETA");exit(0);}
    return;
}

/* Rutina de asignacion de parametros para ON-OFF valvs */
/* en el pto. que le toca */
void unovalvs()
{
    datd=datad;
    paramp[0]=0;
    paramp[1]=0x220;
    paramp[11]=FP_OFF(datd);
    paramp[14]=FP_SEG(datd);
    paramp[35]=0;
    paramp[36]=0;
    paramp[37]=1;

    pci812(3, paramp);
    if(paramp[45]!=0){moveto(200,200);outtext(" ERROR INICIALIZANDO TARJETA");exit(0);}
    return;
}

/* Rutina de asignacion de parametros para ON-OFF valvs */
/* A o B en el pto. 1 */
void unoAB()
{
    datd=datad;
    paramp[0]=0;
    paramp[1]=0x220;
    paramp[33]=FP_OFF(datd);
    paramp[34]=FP_SEG(datd);
    paramp[35]=0;
    paramp[36]=0;
    paramp[37]=1;
    paramp[38]=1;
    pci812(1, paramp);
    if(paramp[45]!=0){moveto(200,200); outtext(" ERROR INICIALIZANDO TARJETA"); exit(0);}
    return;
}

```

```

/*Rutina que escribe dato digital para valon y valoif de principal */
/* y el actumlor */
void tresint omot()
{
  pci812(28, paramp);
  if(paramp[45]!=0){moveto(40,100); outtext(" ERROR EN PUERTO DIGITAL");exit(0);}
  dataa[0]=onoff;
  pci812(29, paramp);
  if(paramp[45]!=0){moveto(200,200); outtext("ERROR EN PUERTO DIGITAL"); exit(0);}
  return;
}

/*Rutina que escribe dato digital en cualquier puerto para valvs */
void tresvalvs(int cualloca,int purga)
{
  pci812(29, paramp);
  if(paramp[45]!=0){ moveto(200,200); outtext("ERROR EN PUERTO DIGITAL");exit(0);}
  return;
}

/*Rutina que escribe dato digital en pto. 1 para valvs secundarias dependiendo cual */
void tresAB(int cualloca)
{
  pci812(29, paramp);
  if(paramp[45]!=0){moveto(200,200); outtext("ERROR EN PUERTO DIGITAL");exit(0);}
  return;
}

/*Rutina de asignacion de parametros para el A/D para leer presion*/
void leer_pres1()
{
  dataa=dataaa;
  paramp[0]=0;
  paramp[1]=0x220;
  paramp[5]=50;
  paramp[6]=100;
  paramp[7]=0;
  paramp[10]=FP_OFF(dataa);
  paramp[11]=FP_SEC(dataa);
  paramp[12]=0;
  paramp[13]=0;
  paramp[14]=1;
  paramp[15]=0;
  paramp[16]=0;
  paramp[17]=1;

  pci812(13, paramp);
  if(paramp[45]!=0){moveto(200,200); outtext(" ERROR INICIALIZACION TARJETA");exit(0);}
  return;
}

void leer_pres2()
{
  pci812(4, paramp);
  if(paramp[45]!=0){moveto(200,200); outtext(" ERROR EN CONVERTIDOR A/D");exit(0);}
  return;
}

(float leer_pres3()
{
  float databuf,datos=0.0;
  pci812(5, paramp); /*comienzo de lectura de presiones */
  if(paramp[45]!=0){moveto(200,200); outtext(" FALLO EN TRANSFERENCIA DE DATOS");exit(0);}
  databuf=dataa[0]&0xFF;
  databuf=( 2.5 * (-2.5) ) * databuf / 4096 )+ (-2.5);
}

```

```

datos=((databuf-0.27)*10)-0.1;
if(datos < 0)datos =0;
return(datos);
}

/*Rutina que lee temperatura en el pto.1 del A/D*/
void leer_temp1()
{
  datan=dataan;
  paramp[0]=0;
  paramp[1]=0x220;
  paramp[5]=50;
  paramp[6]=-100;
  paramp[7]=0;
  paramp[10]=FP_P_(X1(datan));
  paramp[11]=FP_SEC(datan);
  paramp[12]=0;
  paramp[13]=0;
  paramp[14]=1;
  paramp[15]=1;
  paramp[16]=1;
  paramp[17]=2;
  pci812(3, paramp);
  if(paramp[45]==0){moveto(200,200); outtext(" ERROR INICIALIZANDO TARJETA!"); exit(0);}
  return;
}

void leer_temp2()
{
  pci812(4, paramp);
  if(paramp[45]==0){moveto(200,200); outtext(" ERROR EN CONVERTIR A/D"); exit(0);}
  return;
}

float leer_temp3()
{
  float databuf,datos;

  pci812(5, paramp);
  if(paramp[45]==0){moveto(200,200); outtext("FALLO EN TRANSFERENCIA DE DATOS!"); exit(0);}
  databuf=(dataan[0]&0xFF);
  databuf=((1.25 - (-1.25)) * databuf / 4096) + (-1.25);
  datos=(databuf*100)-1; /*Compensacion de 1°C*/
  return(datos);
}

/*Rutina que concatena el nombre del reporte con la extension que le toca*/
void write_file(char ext[4],int unotro,int cualoca)
{
  char vial[10];
  strcpy(nombre,archivo);
  if(unotro==1){itoa(cualoca,vial,10); strcat(nombre,vial);}
  strcat(nombre,ext);
  return;
}

/* Rutina para escribir en archivo de reportes de presion y archivo temporal dppg.cel presion acumulada*/
void write_file2(int tmuestreo)
{
  float *fp;
  float ftempo;
  char vial[10],auxiliar[10]="dppg";

  no_muestra[cual]+1;
  tiempo=(float)tmuestreo*(float)no_muestra[cual]/60 /* tiempo en hrs desde cero*/

```

```

DP[cuaf]+=lecturas[0];
fp=fopen(nombre,"a");
if(fp==NULL){outtext("ERROR EN ARCHIVO DE REPORTES!");putch(7);return;}
printf(fp,"%n%6d \t %1.3f \t %1.2f \t %1.2f \t %1.1f",
no_muestra[cuaf],tiempo,lecturas[0],DP[cuaf],lecturas[1]);
fclose(fp);
fwrite(cuaf,vial,10); /* escribe el incremento de presion en dppg#.cel para graficarlo despues*/
strcpy(auxiliar,vial);
strcpy(auxiliar,".cel");
fp=fopen(auxiliar,"a");
if(fp==NULL){outtext("ERROR EN ARCHIVO DE REPORTES!");putch(7);return;}
printf(fp,"%n%1.1f \t %1.1f",tiempo,DP[cuaf]);
fclose(fp);
return;
}

/* Rutina para escribir en el archivo de reportes de gas*/
void write_file3(int imuestro)
{
FILE *fp;
float tiempo;

no_muestra[0]++;
tiempo=(float)imuestro*(float)no_muestra[0]/60;/* tiempo en hrs desde cero*/
fp=fopen(nombre,"a");
if(fp==NULL){outtext("ERROR EN ARCHIVO DE REPORTES!!!");putch(7);return;}
printf(fp,"%n%6d \t %1.3f \t %1.2f \t %1.2f",
no_muestra[0],tiempo,lecturas[3],lecturas[4]);
fclose(fp);
return;
}

/* Rutina que escribe el reporte de moles y calcula la fraccion mol que */
/* X es la fraccion mol de C14 y CO2 */
/* MT es el numero de moles totales, calculadas con incremento de presion */
/* MTC14 es el no. moles totales de C14 en la botella */
/* MTCO2 es el no. moles totales de CO2 en la botella */
/* R esta en atm*litro/mol**Kelvin, temperatura en kelvin,volumen en litros*/
void write_file4()
{
FILE *fp,*fpp;
float XC14=0.0,XCO2=0.0,MT=0.0,MTC14=0.0,MTCO2=0.0;
int v;
char vial[10],auxiliar[12]="nmipp";

XC14=lecturas[3]/(lecturas[3]+lecturas[4]); /* fraccion mol de C14 */
XCO2=lecturas[4]/(lecturas[3]+lecturas[4]); /* fraccion mol de CO2 */
for(v=1;v<=no_viales;v++){
write_file1("mol",v);
fwrite(v,vial,10);
strcpy(auxiliar,vial);
strcpy(auxiliar,".cel");
fp=fopen(auxiliar,""); /* abre archivo auxiliar para leer mol totales*/
if(fp==NULL){outtext("ERROR EN ARCHIVO AUXILIAR!!!");putch(7);return;}
fpp=fopen(nombre,"a"); /* abre archivo de reporte de moles */
if(fpp==NULL){outtext("ERROR EN ARCHIVO DE REPORTES!!!");putch(7);return;}
while(feof(fp)==0){ /* lee datos para encontrar los maximos*/
fscanf(fp,"%i",&MT);MTC14=XC14*MT;MTCO2=XCO2*MT;
printf(fpp,"%n%6d \t %1.2f \t %1.2f \t %1.2f",no_muestra[10],MT,MTC14,MTCO2);
}
fclose(fp);
fclose(fpp);
return;
}

```

```

/* Rutina de archivo auxiliar, guarda el no. moles totales de los (DP) */
/* presion en atmosferas, temperatura en kelvin, volumen en litros r en atm*litro/mo*°K */
void write_moltot(float DP)
{
    FILE *fp;
    float nmtotales=0.0,TK=0.0,DPatm=0.0,V=0.106,R=0.08205;
    char vial[10],auxiliar[10]="nmlpp";

    TK=lecturas[1]*272.5;
    DPatm=DP/14.696;
    moltotales=(DPatm*V)/(R*TK);
    itoa(cual,vial,10);
    strcat(auxiliar,vial);
    strcpy(auxiliar,".cel");
    fp=fopen(auxiliar,"a");
    if(fp==NULL){printf("ERROR EN ARCHIVO(AUXILIAR)");putch(7);return;}
    fprintf(fp,"n%1.2f",moltotales);
    fclose(fp);
    return;
}

/* Rutina que interpola las areas de CH4 y CO2 en las curvas respectivas*/
/* para obtener las moles de CH4 y CO2 */
void interpola()
{
    lecturas[3]=(lecturas[3]-param_cromatografo[1])/param_cromatografo[0];
    lecturas[4]=(lecturas[4]-param_cromatografo[3])/param_cromatografo[2];
    return;
}

/* Rutina de asignacion de parametros para la lectura de gases */
/* en el cromatografo */
void leer_gas1()
{
    datan=datan;
    paramp[0]=0;
    paramp[1]=0x220;
    paramp[5]=50;
    paramp[6]=100;
    paramp[7]=0;
    paramp[10]=FP_C(F(datan));
    paramp[11]=FP_S(F(datan));
    paramp[15]=-2;
    paramp[16]=-2;
    paramp[17]=1;

    pci812(3, paramp);
    if(paramp[45]!=0){printf("ERROR INICIALIZANDO TARJETA");exit(0);return;}
    return;
}

void leer_gas2()
{
    pci812(4, paramp);
    if(paramp[45]!=0){printf("ERROR EN CONVERTIDOR A/D");exit(0);return;}
    return;
}

void leer_gas3()
{
    float databuf,datos;
    pci812(5, paramp); /*comienzo de lectura de presiones */
    if(paramp[45]!=0){printf("FALLO EN TRANSFERENCIA DE DATOS");exit(0);return;}
    databuf=(datan)&0xFFF;
    databuf=(2.5*(-2.5))*databuf/4096)+(-2.5);
}

```

```

if(databuf <= param_integracion[0]){databuf=0.0;} /* elimina los valores negativos */
lecturas[0]=databuf;
return;
}

/* Rutina que discrimina cuando se comienza y termina un pico y almacena la lectura*/
/* k es el no. de picos detectados, l es el numero de muestra relativo a cada pico*/
void picos(int l)
{
int extrinf=0,extrsup=0;

if(lecturas[2]!=0&&lecturas[0]>0)
{k++;extrinf++;} /* Inicializa no.lect.incrementa area para + datos*/
if(lecturas[2]!=0&&lecturas[0]==0){extrsup++;}
if(lecturas[l]>0){
l++;
if(extrinf==1){extrsup==1){areas[k]+=lecturas[0];}
else {if(l%2)==0){areas[k]+=2*lecturas[0];}
else {areas[k]+=4*lecturas[0];}
}
if(extrsup==1&&l<=4){areas[k]=0;k--;} /*si 4 lecturas ruido y descarta*/
if(extrsup==1)l=0;
if(k==0)k=0; /* proteccion de overflow en el arreglo*/
lecturas[2]=lecturas[0];
return;
}

/*Rutina que calcula el area final, p=1 (CI14) asigna el area a lecturas[0]*/
/*p=2 (CO2) asigna el area a lecturas[1],param_integracion[2] es h param_integracion[1] es area rechazada */
void area(int g)
{
int i;

if(k==0){
if(g==1)lecturas[3]=0.0; /* no hubo ningun pico */
if(g==2) lecturas[4]=0.0;
}else
for(i=1;i<=k;i++){
areas[i]*=param_integracion[2]/3; /* valor final de cada area */
if(areas[i]> param_integracion[1]){
if(g==1)lecturas[3]=areas[i]; /* area de pico de CI14*/
if(g==2)lecturas[4]=areas[i]; /* area de pico de CO2*/
}
}
return;
}

/* Rutina de finalizar, Inicializa los puertos y el reloj*/
void fin()
{
int k;
for(k=0;k<11;k++){tparo[k]=0;} /*anula los tiempos de paro*/
etaped=0; /*inicializa el reloj */
haz[1]=0,haz[2]=0,haz[3]=0;
uno();dos();tres(0); /*apaga pto. digital 1 */
unoA11();dosA();tresA11(0); /*apaga pto. digital 2 */
nivel(251,200);
outtext("FIN DE PROGRAMACION");
getch();
}

```

## Apéndice D

## Hojas de especificaciones

## K1 PRESSURE TRANSMITTER INSTRUCTION SHEET



Cole-Parmer Instrument Company  
7425 North Oak Park Chicago, Illinois 60638  
Call Toll free: 1-800-323-4340 (except Alaska)  
Within area code 312 call 647-7600  
Telex: 28-9405 • Fax: 1-312-647-9660

### Mounting

The transmitter requires no special mounting hardware, and can be mounted in any plane with negligible position error.

Although the unit can withstand vibration without damage or significant output effects, it is always good practice to mount the transmitter where there is minimum vibration.

For units with NPT type pressure fittings apply Teflon tape or an equivalent sealant to the threads before installing.

When tightening, apply a wrench to the hex wrench flats located just above the pressure fitting. **DO NOT** tighten by using a pipe wrench on the housing.

### Power Supply

The supply voltage for the 0-5, 1-5 and 1-6 VDC output transmitters must be within the range of 10 to 30 VDC. The 0-10 VDC output transmitter must be within the range of 14 to 30 VDC. The maximum supply voltage for a current output transmitter is 30 VDC while the minimum supply voltage is dependent upon the loop resistance of the circuit. The figure below shows the minimum supply voltage ( $V_{min}$ ) required for a given loop resistance ( $R_{loop}$ ).

### Load Limitations 4-20mA Output Only



$V_{min} = 10V_0 + (0.021A)(R_{loop})$   
Includes a 10% safety factor

### Electrical Connections

#### Voltage Output Units

(1-5, 1-6VDC):

(Cable Type)

Red = +Power  
White = Common

Green = Output

(Bendix 4-Pin Connector Type)

Pin A = +Power

Pin D = Common

Pin B = Output

#### Voltage Output Units

(0-5, 0-10VDC):

(Cable Type)

Red = +Power

White = -Power

Green = +Output

Black = -Output

(Bendix 4-Pin Connector Type)

Pin A = +Power

Pin B = -Output

Pin C = -Power

Pin D = -Power

\*Signal and power commons (neg) must be electrically isolated from each other.

#### Current Output Units:

(Cable Type)

Red = +Power

Black = Output

(Bendix 4-Pin Connector Type)

Pin A = +Power

Pin B = Output

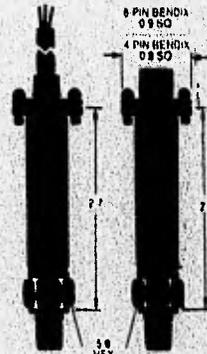
Connect braided shield to guard terminal on reading instrument (meter, etc.) if available or to power supply negative terminal.

### Noise

For minimum noise susceptibility avoid running the transmitter's cable in a conduit that contains high current AC power cables. Where possible avoid running the cable near inductive equipment.

### Adjustment Potentiometers

The zero and span pots are accessible through the top of the case. Loosen the four screws and separate the top carefully. The zero pot is marked with a white dot.



### WARNING READ BEFORE INSTALLATION

Fluid hammer and surges can destroy any pressure transducer and must always be avoided. A pressure snubber should be installed to eliminate the damaging hammer effects.

Fluid hammer occurs when a liquid flow is suddenly stopped, as with quick closing solenoid valves. Surges occur when flow is suddenly begun, as when a pump is turned on at full power or a valve is quickly opened.

Liquid surges are particularly damaging to pressure transducers if the pipe is partially empty. To avoid damaging surges, fluid lines should remain full (if possible), pumps should be brought up to power slowly, and valves opened slowly. To avoid damage from both fluid hammer and surges a surge chamber should be installed and a pressure snubber should be installed on every transducer.

Symptoms of fluid hammer and surge's damaging effects:

- Pressure transducer exhibits an output at zero pressure (range zero offset). If zero offset is less than 10% F.S. user can usually re-zero meter, install proper snubber, and continue maintaining pressure.
- Pressure transducer output remains constant regardless of pressure.
- In severe cases, there will be no output.



## LM35/LM35A/LM35C/LM35CA/LM35D Precision Centigrade Temperature Sensors

### General Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in ° Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of  $\pm 1/2^\circ\text{C}$  at room temperature and  $\pm 1/2^\circ\text{C}$  over a full  $-55$  to  $+150^\circ\text{C}$  temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only  $60\ \mu\text{A}$  from its supply, it has very low self-heating, less than  $0.1^\circ\text{C}$  in still air. The LM35 is rated to operate over a  $-55$  to  $+150^\circ\text{C}$  temperature range, while the LM35C is rated for a  $-40$  to  $+110^\circ\text{C}$  range ( $10^\circ$  with improved accuracy). The LM35 series is

available packaged in hermetic TO-48 transistor packages, while the LM35C is also available in the plastic TO-82 transistor package.

### Features

- Calibrated directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear  $+10.0\ \text{mV}/^\circ\text{C}$  scale factor
- $0.5^\circ\text{C}$  accuracy guaranteeable (at  $+25^\circ\text{C}$ )
- Rated for full  $-55$  to  $+150^\circ\text{C}$  range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than  $60\ \mu\text{A}$  current drain
- Low self-heating,  $0.05^\circ\text{C}$  in still air
- Nonlinearity only  $\pm 1/2^\circ\text{C}$  typical
- Low impedance output,  $0.1\ \Omega$  for 1 mA load

### Connection Diagrams

TO-48  
Metal Can Package\*



BOTTOM VIEW

TLN/M18-1

\*Case is connected to negative on

Order Number LM35H, LM35AH,  
LM35CH, LM35CAH or LM35DH  
See NS Package Number H03H

TO-82  
Plastic Package

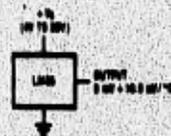


BOTTOM VIEW

TLN/M18-2

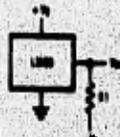
Order Number LM35CE or LM35DE  
See NS Package Number E03A

### Typical Applications



TLN/M18-3

FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature  
Sensor ( $+1^\circ\text{C}$  to  $+150^\circ\text{C}$ )



TLN/M18-4

Choose  $R_1 = -V_1/60\ \mu\text{A}$

$V_{OUT} = +1.000\ \text{mV}$  at  $+150^\circ\text{C}$   
 $= +250\ \text{mV}$  at  $0^\circ\text{C}$   
 $= -250\ \text{mV}$  at  $-55^\circ\text{C}$

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

# MOTOROLA SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA



## 6-Pin DIP Optoisolators Triac Driver Output (250 Volts)

The MOC3009 Series consists of gallium arsenide infrared emitting diodes, optically coupled to silicon bilateral switch and are designed for applications requiring isolated triac triggering, low-current isolated ac switching, high electrical isolation (to 7500 V peak), high detector standoff voltage, small size, and low cost.

### Applications

- Solenoid/Valve Controls
- Lamp Ballasts
- Interfacing Microprocessors to 115 Vac Peripherals
- Motor Controls
- Static ac Power Switch
- Solid State Relays
- Incandescent Lamp Dimmers

### MAXIMUM RATINGS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
<b>INFRARED EMITTING DIODE</b>			
Reverse Voltage	$V_R$	3	Volts
Forward Current -- Continuous	$I_F$	60	mA
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Negligible Power in Transistor Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	100	mW
		1.33	mW/ $^\circ\text{C}$

### OUTPUT DRIVER

Off-State Output Terminal Voltage	$V_{DRM}$	250	Volts
Peak Repetitive Surge Current (PW = 1 ms, 120 pps)	$I_{TSM}$	1	A
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	300	mW
		4	mW/ $^\circ\text{C}$

### TOTAL DEVICE

Isolation Surge Voltage (1) (Peak ac Voltage, 60 Hz, 5 Second Duration)	$V_{ISD}$	7500	Vac
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	330	mW
		4.4	mW/ $^\circ\text{C}$
Junction Temperature Range	$T_J$	-40 to +100	$^\circ\text{C}$
Ambient Operating Temperature Range (2)	$T_A$	-40 to +85	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	$T_{stg}$	-40 to +150	$^\circ\text{C}$
Soldering Temperature (10 s)	$T_L$	260	$^\circ\text{C}$

(1) Isolation surge voltage  $V_{ISD}$  is an internal device electric breakdown rating. For the test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.

(2) Refer to Quality and Reliability Section for test information.

### MOC3009

(IFT = 30 mA Max)

### MOC3010\*

(IFT = 18 mA Max)

### MOC3011

(IFT = 10 mA Max)

### MOC3012\*

(IFT = 5 mA Max)

\*Motorola Preferred Devices

STYLE 6 PLASTIC



STANDARD THRU HOLE  
CASE 730A-04



"T" LEADFORM  
WIDE SPACED 0.4"  
CASE 730D-05



"S"/"F" LEADFORM  
SURFACE MOUNT  
CASE 730C-04  
(STANDARD PROFILE)



CASE 730F-04  
(LOW PROFILE)

### COUPLER SCHEMATIC



1. ANODE
2. CATHODE
3. NC
4. MAIN TERMINAL
5. SUBSTRATE  
DO NOT CONNECT
6. MAIN TERMINAL

# TRIACS



VRRM DC or Peak Volts	IT RMS Max Forward Current (Amps)										
	0.5 A	2.5 A		4 A		8 A		10 A			
50				ECG5601				ECG5612	ECG5622	ECG5631	
100		ECG5640	ECG5650	ECG5602				ECG5613	ECG5623	ECG5632	
200	ECG5655	ECG5641	ECG5651	ECG5603				ECG5614	ECG5624	ECG5633	
400	ECG5656	ECG5642	ECG5652	ECG5605	ECG5629	ECG5608	ECG5638	ECG5616	ECG5626	ECG5635	
600	ECG5657	ECG5643	ECG5653	ECG5607		ECG5609		ECG5618	ECG5628	ECG5637	ECG5645
800						ECG5610					
I <sub>GT</sub> Min (mA) Quadrants I & III	5.0	25	3.0	30	3.0	10	10	50	50	50	50
I <sub>GT</sub> Min (mA) Quadrants II & IV	5.0	40	3.0	---	3.0	10	10	75	---	50*	75
V <sub>GT</sub> Max (V)	2.0	2.2	2.2	2.5	2.0	2.5	2.0	2.5	2.0	2.5	2.5
I <sub>Burge</sub> Max (A)	8.0	25	25	30	40	80	80	100	100	100	120
I <sub>Hold</sub> Min (mA)	20	35	5.0	30	5.0	15	10	50	50	50	50
V <sub>on</sub> Max (V)	1.5	1.8	2.2	2.0	1.8	1.5	1.6	1.8	1.8	1.65	1.6
V <sub>GM</sub> (V)	±5.0	±5.0	±5.0	±5.0	±5.0	±10	±5.0	±5.0	±5.0	±10	±5.0
P <sub>G Av</sub> (W)	.01	.05	.05	.5	.3	.5	.4	.5	.5	.5	.5
Operating Temperature T <sub>J</sub> °C	-40 to +110	-65 to +100	-40 to +90	-40 to +110	-40 to +110	-40 to +110	-40 to +110	-65 to +100	-40 to +100	-40 to +100	-40 to +110
Off State dy/dt (Typ) V/μsec	20	100	5	5	10	25	25	5	5	50	60
Operating Quadrants	I,II,III,IV	I,II,III,IV	I,II,III,IV	I,III	I,II,III,IV	I,II,III,IV	I,II,III,IV	I,II,III,IV	I,III	I,II,III	I,II,III,IV
Fig. No.	236	261		238	240	241	241	238		241	241
Package	TO-92	TO-5		TO-126	TO-202	TO-220	TO-220 Isolated Tab	TO-127		TO-220	TO-220 Isolated Tab

Package Outlines - See Page 1-11

\* 3 Mode device not specified in Quadrant IV

**Transistors (cont'd)** (Maximum Ratings at  $T_C = 25^\circ\text{C}$  Unless Otherwise Noted)

ECG Type	Description and Application	Collector To Base Volts BV <sub>CB0</sub>	Collector To Emitter Volts BV <sub>CE0</sub>	Base to Emitter Volts BV <sub>EB0</sub>	Max. Collector Current I <sub>C</sub> Amps	Max. Device Diss. P <sub>D</sub> Watts	Freq. in MHz f <sub>t</sub>	Current Gain h <sub>FE</sub>	Package		
									Case	Fig. No.	
<b>ECG200A</b>	PNP-Si, AF Pwr Amp (Compl to ECG289A)	100	80	5	.5	.500 (T <sub>A</sub> = 25°C)	120	100 min	TO-92	T16	
<b>ECG200MCP</b>	Matched Compl Pair-Contains one each ECG289A (NPN) and ECG290A (PNP)										
<b>ECG201</b>	NPN-Si, Pwr Amp, Sw (Compl to ECG292)	130	120	5	4	40	4 min	75 typ	TO-220	T41	
<b>ECG202</b>	PNP-Si, Pwr Amp, Sw (Compl to ECG291)	130	120	5	4	40	4 min	75 typ	TO-220	T41	
<b>ECG202MCP</b>	Matched Compl Pair Contains one each ECG291 (NPN) and ECG292 (PNP)										
<b>ECG203</b>	NPN-Si, AF Pwr Amp (Compl to ECG294)	60	50	5	1	1 W (Heat Sink) .75 (T <sub>A</sub> = 25°C)	200	120 min	T-16	T20	
<b>ECG204</b>	PNP-Si, AF Pwr Amp (Compl to ECG293)	60	50	5	1	1 W (Heat Sink) .75 (T <sub>A</sub> = 25°C)	200	120 min	T-16	T20	
<b>ECG206</b>	NPN-Si, RF Output/Driver	75	40	5	1	5	150 min	20 min	TO-18	T45	
<b>ECG208</b>	PNP-Si, HV AF Amp, Video Output (Compl to ECG171)	300	300	5	.5	10 (T <sub>C</sub> = 25°C) 2 (T <sub>A</sub> = 25°C)	50	40 typ	TO-202	T38	
<b>ECG207</b>	NPN-Si, AF Driver, Pwr Amp (Compl to ECG206)	80	80	5	1 peak	.75 (T <sub>A</sub> = 25°C)	120	130 min	T-16	T20	
<b>ECG208</b>	PNP-Si, AF Driver/Pwr Amp (Compl to ECG207)	80	80	5	1 peak	.75 (T <sub>A</sub> = 25°C)	120	130 min	T-16	T20	
<b>ECG209</b>	NPN-Si, RF Driver/Pwr Amp	75	35	4	1	4	200	10 min	TO-202	T38	
<b>ECG300</b>	NPN-Si, AF Pwr Output (Compl to ECG307)	50	40	5	1.5	7	70	90 min	TO-202	T38	
<b>ECG300MCP</b>											
<b>ECG302</b>	NPN-Si, RF Driver/Pwr Amp	100	50	6	1.5 peak	8	80	200 min	TO-202J	T37	
<b>ECG304A</b>	Transistor Kit - See Page 1-54										
<b>ECG306</b>	NPN-Si, RF Driver/Pwr Amp	100	50	6	1.5 peak	8	80	200 min	TO-202J	T37	
<b>ECG307</b>	PNP-Si, AF Pwr Output (Compl to ECG300)	50	40	5	1.5	7	70	90 min	TO-202	T38	
<b>ECG311</b>	NPN-Si, VHF/UHF Osc, Amp, Driver	55	30	3.5	.4	5	800 min	25 min	TO-39	T6	
<b>ECG312</b>	See FET Selector Guide Page 1-57										
<b>ECG313</b>	NPN-Si, VHF Tuner, RF Amp	30	30	4	20 mA	.15 (T <sub>A</sub> = 25°C)	400 min	25 min	RF-15	T49	
<b>ECG315</b>	NPN-Si, RF Driver	100	50	6	1	.75 (T <sub>A</sub> = 25°C)	80	200 typ	5C-51	T19	
<b>ECG316</b>	NPN-Si, Lo Noise UHF Amp (NF 4.5 dB max, 450 MHz)	30	15	3.5	50 mA	.200 (T <sub>A</sub> = 25°C)	1400	25 min	TO-72	T4	
<b>ECG317</b>	NPN-Si, RF Pwr Output (P <sub>O</sub> 70 W, 30 MHz)	36	36 (CES)	4	15	220		10 min	RF-50F	T58	
<b>ECG318</b>	NPN-Si, RF Pwr Output (P <sub>O</sub> 50 W, 30 MHz)	36	36 (CES)	4	6	80		5 min	RF-50F	T58	
<b>ECG318P</b>	NPN-Si, AGC Controlled IF Amp (Includes Metal Shield)	40	30	4	.05	.5 (T <sub>A</sub> = 25°C)	300 min	35 typ	TO-92	T16	
<b>ECG320</b>	NPN-Si, RF Pwr Output (P <sub>O</sub> 40 W, 175 MHz)	36	36 (CES)	4	6	80		200 min	5 min	RF-50SS	T55
<b>ECG320F</b>	NPN-Si, RF Pwr Out (P <sub>O</sub> 40 W, 175 MHz)	36	18	4	6	80		200 min	5 min	RF-38F	T57