

01129  
59



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**"SISTEMA PARA LA DETERMINACION DE LA DEMANDA  
BIOQUIMICA DE OXIGENO (SIDDEBIOX) EN MUESTRAS DE  
AGUAS RESIDUALES".**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
ING. ELECTRICO ELECTRONICO  
P R E S E N T A N :  
OSCAR TINOCO RIVERA  
JORGE VALDIVIA ARRIAGA**



**DIRECTOR: ING. RAUL RUVALCABA MORALES**

**MEXICO, D. F.**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**2003**

A



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

---

---

*.Al Ing. Raul Ruvalcaba Morales por su valiosa amistad, incondicional apoyo y vasta experiencia que ha compartido con nosotros durante todo este tiempo. Gracias.*

*.Al Dra. Carmen Duran de Bazua por la asesoría, material e instalaciones prestadas a lo largo de este trabajo.*

*.Al M.I. Antonio Salas Calleja por su asesoría en la programación del microcontrolador.*

*.Al I.Q. José Orellan Flores Flores por su disposición en el apoyo de la parte electroquímica.*

*.Al Museo de Ciencias Universum por el espacio prestado para la realización de este proyecto.*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

---

---

*Con todo mi cariño y gratitud  
a quienes con su esfuerzo,  
dedicación y confianza lograron  
que culminara mi carrera profesional.*

*A mis padres:*

*Alicia Rivera Guzmán  
Antonio Tinoco Boltrán*

*A mis hermanos:*

*Ricardo Tinoco Rivera  
Luis Tinoco Rivera  
Alejandro Tinoco Rivera  
Carlos Tinoco Rivera*

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

---

---

*A mis padres:*

*E. Alejandro Valdivia Ballón.*

*Ama Rosa Sotriaga Escobedo.*

*Por estar siempre a mi lado y brindarme  
todo su apoyo incondicional para terminar  
mi carrera profesional.*

*A mi hermano:*

*Carlos J. Valdivia Sotriaga  
compañero de esta vida*

---

---

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

D

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
1. ANTECEDENTES .....	4
1.1 Métodos respirométricos.....	5
1.2 Aguas residuales.....	6
1.2.1 Microorganismos.....	7
1.2.2 Sólidos.....	7
1.2.3 Componentes inorgánicos.....	8
1.2.4 Materia orgánica.....	9
1.3 Medición de la DBO.....	9
1.4 Fundamentos.....	11
1.4.1 Absorción del CO <sub>2</sub> .....	11
1.5 Generación de oxígeno.....	13
1.5.1 Celdas electrolíticas.....	14
2. PROPUESTA DE DISEÑO.....	17
2.1 Fundamento.....	18
2.2 Características de diseño.....	19
3. DETERMINACION DE LA DBO.....	21
3.1 Vaso de reacción.....	22
3.2 Generador de oxígeno.....	22
3.3 Detector de cambios de presión.....	24
3.4 Circuito de detección de presión.....	25
3.5 Temporizador.....	26
3.6 Fuente de corriente.....	28
4. UNIDAD DE CONTROL.....	29
4.1 Unidad de procesamiento.....	30
4.1.1 Introducción a los microcontroladores.....	30
4.1.1.1 Arquitecturas Von Neumann o Harvard.....	32
4.1.1.2 Juego de instrucciones RISC / CISC.....	33
4.1.1.3 Tipos de memorias.....	35
4.1.2 Selección del microcontrolador.....	36
4.1.3 Características del microcontrolador 68HC11F1.....	37

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

*[Handwritten signature]*

4.2 Unidad para la interacción con el usuario.....	42
4.2.1 Teclado.....	42
4.2.2 Pantalla de despliegue.....	43
4.3 Control de temperatura.....	44
4.4 Control de agitación.....	45
4.5 Programación del microcontrolador.....	47
4.5.1 Diagrama de flujo general del proceso.....	47
4.5.2 Diagramas de flujo generales por interrupciones.....	48
4.5.3 Lógica de programación del microcontrolador.....	49
5. TEMPERATURA.....	53
5.1 Transductores de temperatura.....	54
5.1.1 Termistores.....	54
5.1.2 Termopares.....	56
5.1.3 Semiconductores.....	57
5.2 Selección y diseño.....	58
5.3 Calentamiento.....	63
5.4 Enfriamiento.....	64
6. AGITACIÓN.....	66
6.1 Motores de corriente directa.....	67
6.2 Diseño.....	68
6.2.1 Fuente de alimentación del motor.....	69
6.2.2 Soporte del motor.....	70
7. FUENTE DE ALIMENTACIÓN.....	71
7.1 Diseño.....	72
7.1.1 Transformación.....	72
7.1.2 Rectificación y filtrado.....	73
7.1.3 Regulación.....	74
8. CONTENEDOR.....	76
8.1 Proceso de ensamblado.....	78
8.2 Rejilla para el montaje de las unidades.....	82
8.3 Montaje de los circuitos electrónicos.....	82

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

✓

---

9. OBTENCIÓN DE LAS CURVAS DE DBO.....	84
9.1 Diseño.....	85
9.2 Descripción del software. ....	86
10. PRUEBAS Y RESULTADOS .....	89

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA

APÉNDICE A: HOJAS DE ESPECIFICACIONES

APÉNDICE B: DIAGRAMAS ELECTRÓNICOS

APÉNDICE C: LISTADO DEL PROGRAMA DEL MICROCONTROLADOR

APÉNDICE D: CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



---

---

# INTRODUCCIÓN

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

---

---

## INTRODUCCIÓN

Existe una correlación entre el agua contaminada y las enfermedades, y quedó firmemente establecida con la epidemia de cólera que se presentó en 1854 en Londres, Inglaterra. La protección de la salud pública, que fue el propósito original del control de la contaminación, es todavía el objetivo primordial en muchas áreas. No obstante, la conservación de los recursos hidráulicos, la protección de las áreas de pesca y el mantenimiento de las aguas recreativas son preocupaciones adicionales en la actualidad. Los problemas de contaminación del agua se intensificaron después de la Segunda Guerra Mundial, cuando se produjeron aumentos espectaculares en la densidad urbana y la industrialización. La preocupación respecto a la contaminación del agua alcanzó su máximo a mediados de la década de 1970.

En algunas regiones, los desperdicios de las poblaciones en pleno crecimiento constituyen una amenaza para la salud pública y ponen en peligro el uso ininterrumpido de las reservas de agua, que en muchos casos son insuficientes.

La contaminación del agua es un término poco preciso que nada dice acerca del tipo de material contaminante ni de su fuente. El modo de atacar el problema de los residuos depende de si los contaminantes demandan oxígeno, favorecen el crecimiento de algas, son infecciosos, tóxicos o simplemente de aspecto desagradable. La contaminación de los recursos hidráulicos puede ser consecuencia directa del desagüe de aguas negras o de descargas industriales (fuentes puntuales) o indirecta de la contaminación del aire o de desagües agrícolas o urbanos (fuentes no puntuales).

Es por eso que, en julio de 1989, se creó el Programa de Ingeniería Química Ambiental y Química Ambiental (PIQAYQA) con el fin de mantener un carácter multidisciplinario de los proyectos que, sobre el ambiente, se desarrollan en la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Las líneas de investigación que se desarrollan actualmente en el PIQAYQA son:

- Manejo, tratamiento, reúso y reciclaje de agua y de aguas residuales
- Tratamiento, estabilización y disposición de residuos sólidos, peligrosos y no peligrosos
- Efectos de la corrosión atmosférica (creada por contaminantes antropogénicos)
- Medición de contaminantes atmosféricos provenientes de emisiones industriales y de su impacto en las áreas aledañas
- Fotocatálisis de residuos peligrosos no biodegradables, especialmente de aquéllos presentes en suelos y aguas
- Estudios sobre el suelo como reactor bioquímico
- Estudios de impacto y auditorías ambientales
- Establecimiento de nuevas metodologías analíticas para contaminantes específicos en matrices complejas



Además el PIQAYQA cuenta con laboratorios dedicados a:

- Manejo y preparación de muestras peligrosas
- Determinación de contaminantes en muestras sólidas
- Química de suelos
- Química de aguas
- Química atmosférica
- Área de equipos a escala de banco y semipiloto
- Área de química analítica, manejo de matrices complejas y de desarrollo de tecnologías más limpias

Para el desarrollo de algunas de estas actividades, el PIQAYQA cuenta con dos equipos que sirven para determinar la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en agua y estudios respirométricos en suelos y aguas contaminadas. (Ambos equipos son de manufactura alemana de la marca VOITH- SAPROMAT).

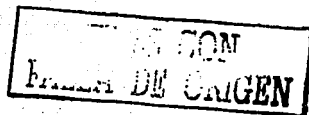
La utilidad de este equipo radica en el hecho de que determina de manera continua la cantidad de oxígeno generada por un sistema electroquímico, que es consumido por el sistema bioquímico que se encuentra en los biorreactores. Estas mediciones en tiempo real lo hacen extraordinariamente útil para seguimientos de biodegradabilidad aerobia en aguas y suelos contaminados.

Debido a los altos costos, tanto de adquisición como de mantenimiento de estos equipos, se dificulta su adquisición para promover la investigación en estas áreas por parte de algunas instituciones mexicanas.

Por estas razones, surge la necesidad de desarrollar un equipo a un costo accesible y que cumpla con los siguientes objetivos:

- Capacidad de obtener la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en tiempo real
- Obtención de las curvas de la DBO
- Facilidad de operación y que realice las mismas funciones que realizan los equipos actuales
- Que sea replicado de manera sencilla y que permita tareas de mantenimiento sin problemas técnicos
- Que tenga un costo accesible para las condiciones económicas de México

En este trabajo, se presenta el diseño y desarrollo así como las pruebas y resultados obtenidos para lograr la construcción de un prototipo que cumpla con estos objetivos.



---

---

# ANTECEDENTES

---

---

4

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## 1. ANTECEDENTES

### 1.1 Métodos respirométricos

Desde principios del siglo XX, se han utilizado varios métodos para determinar el índice de respiración de bacterias, para evaluar la capacidad de una población bacteriana de metabolizar sustancias de las aguas residuales (tratabilidad o biodegradabilidad) y para determinar el efecto que tienen algunas sustancias en las bacterias (inhibición o toxicidad).

La propuesta más antigua utilizando la absorción directa para medir la demanda del oxígeno de las aguas residuales fue hecha por Adney en 1890. Él desarrolló un tipo de aparato manométrico de presión constante en el cual él observaba el índice de absorción del oxígeno por el agua contaminada. A una presión constante, se observó la disminución de volumen debido a la absorción de oxígeno por el desplazamiento de agua en una columna de un tubo vertical graduado, en forma de "u" que conectaba dos recipientes, uno llenado parcialmente de la muestra y el otro que contenía un volumen igual de agua. Todo el aparato fue colocado a una temperatura constante en un Baño María, y agitado periódicamente para mantener un exceso del oxígeno disuelto en la muestra. Aunque Adney encontró que este método era exacto, él concluyó que no era conveniente para el trabajo rutinario.

Rideal y Burgess (1909) utilizaron el aparato, pero lo encontraron insatisfactorio debido a las fugas que se produjeron en el curso de la agitación. Sugirieron que el método de la dilución, con la incubación de las botellas cerradas con la medida del oxígeno disuelto tanto antes como después de la incubación, por un método modificado por Winkler era más exacto. Este método fue el precursor de la prueba estándar conocida como Demanda Bioquímica de Oxígeno o DBO (BOD, por sus siglas en inglés). Sierp (1928) y otros retomaron y modificaron el aparato de absorción directa de Adney para mejorar el método de la dilución y para producir lecturas rápidas, directas y frecuentes.

El respirómetro de Warburg (1926), usado ampliamente por investigadores de todo el mundo, entre ellos Don Bloodgood en la Universidad de Purdue y el Dr. H. Huebelen en la Universidad de Rutgers, en los Estados Unidos, era una modificación del manómetro de sangre-gas, desarrollado por Haldane y Barcroft (1902). El trabajo pionero de Sawyer, de Nichols y de Rohlich (1939) en el estudio y el desarrollo de las curvas de la utilización del oxígeno en lodos activados, fue hecho con dispositivos manométricos que desarrollaron para satisfacer la necesidad de utilizar muestras más grandes y sistemas más herméticos. Estos sistemas, sin embargo, requerían la adición manual de aire atmosférico para suplir el oxígeno. Se necesitaban analistas expertos para hacer funcionar y vigilar visualmente las lecturas del manómetro. La interpretación era tediosa debido a la falta de aparatos automatizados para la manipulación de los datos.



John W. Clark en la Universidad del Estado de Nuevo México a fines de 1950, desarrolló y reportó un dispositivo en el cual el oxígeno se generaba por una pila electrolítica, que también funcionaba como un manómetro asociado a un reactor cerrado. Cuando el dispositivo era accionado por la reducción de la presión en el recipiente de prueba, debido al retiro químico del  $\text{CO}_2$  generado por la respiración bacteriana, el oxígeno era producido por una corriente eléctrica controlada. El valor integrado de la corriente proporcionaba una indicación del oxígeno consumido.

Una de las primeras aplicaciones del aparato Voith-Sapromat (desarrollado por Popel en 1964), fue un procedimiento manual para evaluar el efecto de varios desechos en la degradación de la peptona.

En la figura 1.1 se ejemplifica una botella respirométrica.

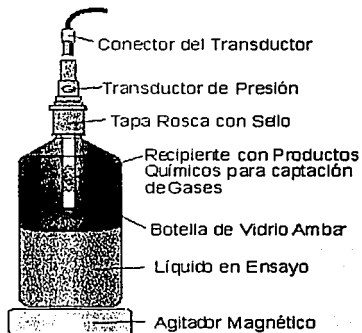


Fig. 1.1. Botella respirométrica del Dr. Calderon

## 1.2 AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales municipales, también llamadas aguas negras, son una mezcla compleja que contiene agua (por lo común más de 99%) mezclada con contaminantes orgánicos e inorgánicos tanto en suspensión como disueltos. La concentración de estos contaminantes normalmente es muy pequeña y se expresa en mg/L (miligramos de contaminante por litro de la mezcla).

Esta es una relación peso/volumen que se emplea para indicar concentraciones de componentes en agua, aguas residuales, desperdicios industriales y otras soluciones diluidas.

Puesto que la densidad relativa de estas soluciones diluidas es similar a la del agua, las concentraciones también se pueden considerar relaciones peso/peso, como mg/kg o ppm (partes por millón). Sin embargo, cuando la densidad relativa de la mezcla no es 1.0, las unidades mg/L y ppm no son términos indistintos.

El agua residual contiene sustancias o componentes químicos y si estos no son tóxicos, es posible que contenga microorganismos. En la naturaleza, estos microorganismos coadyuvan a la metabolización de estas sustancias químicas no tóxicas transformándolas en biomasa y compuestos más simples.

A continuación se da un breve bosquejo.

### 1.2.1 Microorganismos

Dondequiera que hay alimento adecuado, suficiente humedad y una temperatura idónea, los microorganismos prosperan. Las aguas negras proporcionan un ambiente ideal para una inmensa colección de microbios, sobre todo bacterias, más algunos virus y protozoarios. La mayor parte de los microorganismos de las aguas residuales son inofensivos y se pueden emplear en procesos biológicos para transformar materia orgánica en productos finales estables. No obstante, las aguas negras también pueden contener organismos patógenos (causantes de enfermedades) provenientes de los excrementos o fluidos corporales de personas con enfermedades infecciosas susceptibles de transmitirse a través del agua contaminada.

Enfermedades bacterianas de transmisión por agua, como el cólera, la tifoidea y la tuberculosis o enfermedades virales como la hepatitis infecciosa y la disentería, causada por protozoarios, rara vez constituyen un problema en la actualidad en los países desarrollados, sin embargo, todavía son una amenaza en los lugares donde no se dispone de agua tratada correctamente para uso público. Las pruebas para identificar los pocos patógenos que podrían estar presentes son difíciles y requieren tiempo, de modo que la práctica normal consiste en hacer pruebas para buscar otros organismos más abundantes que están presentes siempre (en número de miles de millones) en el intestino de los animales de sangre caliente (entre ellos los humanos). A estos organismos indicadores se les conoce como coliformes fecales y son los que aparecen en la mayor parte de las legislaciones que rigen la calidad del agua.

### 1.2.2 Sólidos

Los sólidos totales (orgánicos más inorgánicos) de las aguas residuales son, por definición, los residuos que quedan una vez que la parte líquida se ha evaporado y el remanente se ha secado a peso constante a 103 °C. Se hace la distinción entre sólidos disueltos y sólidos no disueltos (esto es, en suspensión) evaporando muestras de aguas residuales filtradas y sin filtrar. La diferencia de peso entre las dos muestras secas indica el contenido de sólidos en suspensión. A fin de clasificar aún mejor los residuos, se mantienen a 550°C durante 15 min.

Se considera que las cenizas residuales representan los sólidos inorgánicos y que la pérdida de materia volátil es una medida del contenido orgánico.

La tabla 1.1 muestra las categorías de sólidos de las aguas residuales.

	Muestra		
	Sólidos totales (residuo a 103°C)	Inorgánicos (residuo a 550°C)	Orgánicos (pérdida a 550°C)
Sin filtrar (en suspensión + disueltos)	Sólidos totales (ST)	Sólidos totales fijos	Sólidos totales volátiles
Filtrada (disueltos)	Sólidos totales disueltos (STD)	Sólidos fijos disueltos	Sólidos volátiles disueltos
Por diferencia	Sólidos en suspensión (SS)		Sólidos volátiles en suspensión (SVS)

Tabla 1.1 Sólidos en aguas residuales

De las categorías que se muestran, los sólidos en suspensión (SS) y los sólidos volátiles en suspensión (SVS) son los más útiles. Los SS y la DBO se emplean como medidas de la concentración de las aguas residuales y del rendimiento del proceso. Los SVS pueden ser un indicador del contenido orgánico de los residuos crudos y también proporcionan una medida de la población microbiana activa en los procesos biológicos.

### 1.2.3 Componentes inorgánicos

Las aguas residuales incluyen los siguientes componentes inorgánicos:

- Cloruros y sulfatos: presentes normalmente en el agua y en residuos generados por humanos
- Nitrógeno y fósforo: en sus diversas formas (orgánicas e inorgánicas) en residuos de humanos, con fósforo adicional de los detergentes
- Carbonatos y bicarbonatos: normalmente presentes en el agua y en los residuos como sales de calcio y de magnesio
- Sustancias tóxicas: arsénico, cianuro y metales pesados como Cd, Cr, Cu, Hg, Pb y Zn, pueden estar presentes en los residuos industriales

Además de estos componentes químicos, la concentración de gases disueltos, en especial de oxígeno y la concentración de iones hidrógeno (expresada como pH) son otros parámetros de interés en las aguas residuales.



### 1.2.4 Materia orgánica

Las proteínas y carbohidratos constituyen el 90% de la materia orgánica de las aguas negras domésticas. Las fuentes de estos contaminantes biodegradables incluyen los excrementos y orina humanos, los residuos de alimentos de los fregaderos, el polvo y la suciedad procedente del baño y del lavado de ropa, más varios jabones, detergentes y otros productos de limpieza.

En su mayoría, los métodos comunes se basan en la cantidad de oxígeno que se necesita para convertir el material oxidable en productos finales estables. Puesto que el oxígeno que se consume es proporcional al material oxidable presente, sirve como una medida relativa de la concentración de las aguas residuales.

Los dos métodos de uso más frecuentes para determinar las necesidades de oxígeno de las aguas residuales son las pruebas de DQO y DBO.

*La demanda química de oxígeno (DQO) de las aguas residuales es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar químicamente las sustancias orgánicas presentes.*

*La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es la cantidad medida de oxígeno que requieren microorganismos aclimatados para degradar biológicamente la materia orgánica de las aguas residuales.*

La DBO es el parámetro más importante en el control de la contaminación del agua. Este dato se utiliza como una medida de la contaminación orgánica, como una base para estimar el oxígeno necesario para los procesos biológicos y como un indicador del rendimiento de los procesos.

### 1.3 Medición de la DBO

La cantidad de materia orgánica que contiene el agua o las aguas residuales se puede medir de forma directa (como la obtención del Carbono Orgánico Total, por ejemplo), pero esto no nos dice si las sustancias orgánicas son, en términos biológicos, degradables o no. Para medir la cantidad de materia orgánica biodegradable, se utiliza un método indirecto en el cual se mide la cantidad de oxígeno que consume una población microbiana en crecimiento para convertir (oxidar) la materia orgánica en  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  en un sistema cerrado. El oxígeno que se consume, o DBO, es proporcional a la materia orgánica transformada, y por tanto la DBO es una medida relativa de la materia orgánica biológicamente degradable presente en el sistema. Puesto que la oxidación biológica continúa indefinidamente, la prueba de la DBO última se ha establecido hasta que se ha consumido el 95% o más del oxígeno necesario. La velocidad de reacción de la DBO depende del tipo de residuos presentes y de la temperatura; se supone que varía directamente con la cantidad de materia orgánica presente (carbono orgánico).

En la figura 1.2 se muestra una gráfica de la DBO carbonosa restante ( $L$ ), en función del tiempo ( $t$ ). Puesto que la cantidad de oxígeno consumido en función del tiempo, representa la cantidad de materia orgánica oxidada, la curva  $L_0 - L$ , muestra la materia orgánica carbonosa oxidada en el tiempo  $t$ .

Las ecuaciones correspondientes a  $L$  y  $L_0 - L$ , que se muestran como líneas continuas en la figura, son:

$$L = L_0(10^{-kt}) \quad \text{Ec. (1.1)}$$

y

$$L_0 - L = L_0(1 - 10^{-kt}) \quad \text{Ec. (1.2)}$$

donde  $L$  = carbonosa restante en el tiempo  $t$

( $O_2$  necesario para oxidar la materia orgánica carbonosa restante)

$L_0$  = demanda carbonosa de oxígeno última

(DBO última que es el  $O_2$  necesario para oxidar la materia orgánica carbonosa presente al principio)

$L_0 - L$  = demanda carbonosa de oxígeno

(DBO satisfecha que es el  $O_2$  utilizado para oxidar la materia orgánica carbonosa en el tiempo  $t$ )

$t$  = tiempo (días)

$k$  = constante de velocidad (base 10) ( $\text{día}^{-1}$ )

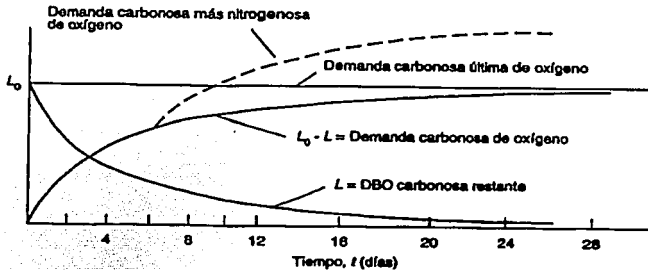


Fig 1.2 Curvas de DBO a 20°C

Las curvas  $L$  y  $L_0 - L$  indican la oxidación del carbono (DBO carbonosa) de la materia orgánica a  $CO_2$  y agua. Sin embargo, después de 5 a 10 días los compuestos nitrogenados comienzan a ser oxidados.

La línea punteada de la figura 1.2 indica el efecto en la demanda de oxígeno cuando el nitrógeno presente en los residuos se oxida en la conversión (nitrificación) del amoníaco en nitratos.

Este ejercicio de la DBO en una segunda etapa se puede inhibir en la prueba de DBO con la adición de agentes químicos apropiados.

### 1.4 Fundamentos

El método Respirométrico, para la determinación de la DBO se basa en la medición del consumo de oxígeno, o la producción de  $\text{CO}_2$  en una Botella Respirométrica. Este objetivo se logra, entre otras formas (Método Manométrico), midiendo la variación de la presión en la botella, mediante un manómetro lo suficientemente sensible. Otros métodos respirométricos propiamente dichos, miden la producción de  $\text{CO}_2$  u otros gases como Metano, Anhídrido Sulhídrico, etc., dentro de la botella.

En el método respirométrico, utilizando botellas de 1 litro de capacidad, llenas con medio litro de muestra o dilución de muestra, se cuenta hasta con 125 mg de oxígeno, contenidos en el aire presente en la cámara superior de la botella. Y se puede contar aún con mayor cantidad de oxígeno en caso de trabajar con volúmenes inferiores de muestra. En este caso, el oxígeno disuelto, sea cual sea el contenido inicial en la muestra (exceptuando muestras altamente sobresaturadas) no tiene casi incidencia en el resultado.

Por lo general está por debajo de 2.5 mg frente a los 125 mg presentes en la cámara superior. Esto implica un error máximo del 2 % en el resultado.

#### 1.4.1 Absorción del $\text{CO}_2$

En el método llamado método manométrico, se mide el vacío creado por el consumo de oxígeno causado por la muestra.

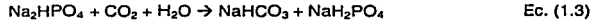
Para que el método basado en la medición manométrica del vacío causado en la botella funcione adecuadamente, es necesario absorber el  $\text{CO}_2$  formado de alguna manera; de lo contrario no habría cambio de presión en las botellas ya que el volumen de  $\text{CO}_2$  producido podría ser igual o casi igual al volumen de oxígeno consumido.

La absorción del  $\text{CO}_2$  puede realizarse de dos maneras:

1. Adecuando el poder buffer de la solución en ensayo para absorber la totalidad del  $\text{CO}_2$ , en forma de bicarbonato disuelto en el líquido.

La cantidad de  $\text{CO}_2$  producida en el método respirométrico, al igual que la cantidad de oxígeno consumida, es relativamente mas grande que la producida en el método clásico. Esto requiere entonces de una adecuación del poder buffer de la solución de ensayo.

Para adecuar el poder buffer de la solución de ensayo a las nuevas condiciones es necesario conocer la capacidad de absorción del CO<sub>2</sub> del sistema Difosfato-Monofosfato dentro del rango de pH permisible o compatible con un crecimiento adecuado de los microorganismos presentes en la muestra en ensayo. Como base teórica para la absorción del CO<sub>2</sub> dentro del sistema tenemos la siguiente reacción:



De acuerdo con la anterior reacción 142 mg de Fosfato Disódico anhidro absorberían 44 mg de CO<sub>2</sub>. La anterior reacción es reversible y a medida que procede hacia la derecha se va reduciendo el pH del medio de tal manera que esta misma condición detiene el desarrollo de la reacción en un punto intermedio de la transformación del Fosfato Disódico en Fosfato Monosódico.

2. Absorbiendo el CO<sub>2</sub> mediante algún hidróxido alcalino en un recipiente apropiado en contacto con la zona gaseosa de la botella.

Esta forma de absorber los gases, también funciona adecuadamente y consiste en colocar en el espacio de aire que se encuentra encima del líquido, un recipiente perforado, en el cual se coloca hidróxido de sodio como material absorbente para el CO<sub>2</sub>. Este material absorbe rápidamente el CO<sub>2</sub> producido. La botella requiera agitación para la adecuada y rápida absorción del CO<sub>2</sub>, de lo contrario la difusión del CO<sub>2</sub> desde la parte inferior de la botella hacia el recipiente de absorción puede resultar demasiado lenta.

Para la Absorción se debe tener en cuenta la siguiente reacción:



Así que 80 gr de NaOH absorberán 44 gr de CO<sub>2</sub>. Para una botella respirométrica de 1105 ml de capacidad, llena de CO<sub>2</sub> puro a 20 °C, se requieren  $1.105 \times 0.8878 \times 80 / 44 = 1.784$  gr de NaOH y para una botella normal con medio litro de muestra, suponiendo que se agotara completamente el oxígeno de la cámara y que se generan  $125 \times 44 / 32 = 171.8$  mg de CO<sub>2</sub> se requieren:

$$171.8 \times 80 / 44 = 312 \text{ mg de NaOH.}$$

En la práctica se recomienda colocar 1 gr de NaOH.

De las opciones mencionadas, se considera en principio que adecuar el poder buffer de la solución de ensayo es especialmente adecuado para la determinación de la DBO en aguas y el método de absorber el

CO<sub>2</sub> en un recipiente con reactivos especiales insertos en la botella respirométrica es más adecuado para la determinación de la respiración en muestras sólidas como suelos, desechos orgánicos, lodos secos etc.

### 1.5 Generación de oxígeno

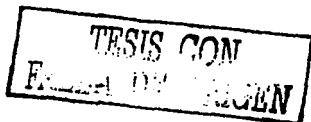
En algunos métodos manométricos se requiere de la generación de oxígeno, para compensar el vacío parcial creado por la absorción del CO<sub>2</sub>. Este oxígeno, es generado utilizando un proceso electroquímico.

El concepto de Electroquímica implica transformaciones que requieren la presencia de electrodos. Dos electrodos sumergidos en un electrolito y unidos externamente por un conductor metálico forman lo que se conoce como celda electroquímica. Cuando en la celda ocurre una reacción química que da lugar a una corriente eléctrica, se llama pila o celda galvánica. Si por el contrario, una corriente externa da lugar a una reacción química, entonces se llama celda o celda electrolítica.

Puesto que la Electroquímica trata sobre reacciones químicas que dan lugar a una corriente eléctrica o el fenómeno inverso, su estudio puede hacerse, como el de las reacciones químicas ordinarias, desde dos puntos de vista diferentes, uno el termodinámico y otro el cinético. Las celdas galvánicas que dan lugar a una diferencia de potencial de equilibrio pueden ser estudiadas con ayuda de la Termodinámica, en cambio, en las celdas electrolíticas el proceso que ocurre es irreversible debido al paso de corriente por la celda, lo que hace que su estudio no pueda realizarse sobre una base termodinámica, por lo que se tiene que recurrir a leyes cinéticas.

Desde el punto de vista Físicoquímico, los conductores más importantes son los del tipo electrolítico, es decir los electrolitos. Estos se distinguen de los conductores electrónicos como los metales, por el hecho de que el paso de una corriente eléctrica va acompañada por el transporte de materia.

Cuando pasa una corriente eléctrica a través de un conductor electrolito, el transporte de materia se manifiesta en las discontinuidades del sistema. Por ejemplo, si en una disolución acuosa diluida en un ácido se sumergen dos alambres, preferentemente de platino, unidos a los 2 polos de una batería voltaica que actúa como fuente de corriente, se desprenden en los alambres burbujas de hidrógeno y oxígeno respectivamente, si la disolución electrolítica contuviera una sal de cobre o plata se liberaría el metal correspondiente en lugar de hidrogeno.



### 1.5.1 Celdas electrolíticas

La celda galvánica esta basada en la oxidación-reducción<sup>1</sup>, donde se produce un cambio en los números de oxidación de las sustancias. Los electrones tienen que fluir por el circuito externo desde el electrodo negativo al positivo. En el electrodo negativo tiene lugar la oxidación y la reducción se verifica en el electrodo positivo. Cuando ocurren las reacciones de óxido y reducción resulta la celda.

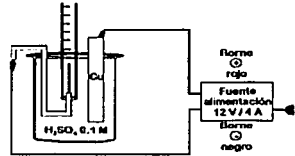


Fig 1.3 Celda electrolítica

Si cuando se disponen dos semiceldas estándar de  $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}$  y  $\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}$  se genera una diferencia de potencial de 1.1 V, aplicando una tensión externa ligeramente superior a 1.1 V podemos lograr que ocurra el proceso opuesto al que dictan los criterios de espontaneidad química. Esto, obviamente, no vulnera los principios generales de la Termodinámica, dado que la reacción se invierte gracias a un aporte externo de energía eléctrica.

En este caso, estaríamos convirtiendo energía eléctrica, suministrada por un generador de corriente en energía química, dado que se estarían generando productos cuya energía química es superior a la de los reactivos.

Los fenómenos asociados con la electrólisis fueron estudiados por Faraday, realizó experimentos para determinar los principios que relacionan la cantidad de materia que se mueve o deposita durante la electrólisis.

*Electrólisis, es el proceso por el cual se originan cambios químicos al paso de una corriente eléctrica a través de un líquido.*

<sup>1</sup> oxidación, es el proceso por el cual las dítomos pierden electrones, reducción, es un proceso por el cual las dítomos ganan electrones

Las leyes de Faraday rigen los fenómenos de electrólisis, término que se aplica para describir los procesos de conversión de energía eléctrica en energía química.

1. La masa de un elemento depositado en cualquiera de los electrodos durante la electrólisis es directamente proporcional a la cantidad de carga  $Q$  que pasa a través del electrolito.

La cantidad de carga que se transfiere, por supuesto, depende de la magnitud de la corriente  $I$  y de su duración  $t$ :

$$Q = I \cdot t \quad \text{Ec. (1.5)}$$

La cantidad puede controlarse al variar la corriente que pasa por el circuito o el intervalo de tiempo.

2. La masa depositada durante la electrólisis es directamente proporcional a la masa atómica  $M$  del material depositante.

La masa atómica de un elemento es el número que se le asigna a dicho elemento y que indica su masa atómica relativa, la comparación se hace con base en el número 12, que fue asignado al átomo de carbono 12.

3. La masa depositada durante la electrólisis es inversamente proporcional a la valencia del material depositante.

La valencia química  $v$  de un ion es el número de electrones que debe perder o ganar un ion para hacerse eléctricamente neutro.

Las tres leyes de Faraday establecidas pueden combinarse en una sola relación si se introduce la constante de proporcionalidad  $F$ , llamada constante de Faraday:

$$m = \frac{M \cdot Q}{v \cdot F} \quad \text{Ec. (1.6)}$$

Donde  $m$  = masa depositada, kg

$Q$  = número total de coulombs transferidos

$M$  = masa atómica, kg

$v$  = valencia sin considerar el signo



La constante de Faraday a sido determinada experimentalmente como:

$$F = 9.65 \times 10^7 \text{ C/kmol}$$

El significado de esta constante establece que la transferencia de  $9.65 \times 10^7 \text{ C}$  de carga a través de una solución electrolítica libera un peso atómico-kilogramo (1 kmol) de un material de electrodeposición monovalente.

El uso de un puente salino es importante pues concentra a las dos soluciones , evita su mezcla, elimina completamente el potencial de unión y establece que la fem medida es simplemente la suma de los dos potenciales electrodoicos. La diferencia de potencial varía con la concentración, es decir, mientras más diluida es la solución el potencial decrece.

TESIS CON  
FALLA DE CALIFICACION



---

---

PROPUESTA DE DISEÑO

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## 2. PROPUESTA DE DISEÑO

El presente trabajo muestra el diseño y desarrollo de un equipo que permita tanto el monitoreo y determinación de las curvas de descomposición de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) como la inhibición o simulación de sustancias en muestras de aguas residuales.

También pretendemos que con este equipo, se puedan realizar estudios en sustancias sólidas, pruebas de descomposición por sustancias químicas, análisis de producto, determinación del conteo de bacterias, determinación de biomasa, etc.

### 2.1 FUNDAMENTO

El equipo que proponemos opera bajo el siguiente principio: La muestra a analizar (agua residual) presenta la particularidad de que el oxígeno se encuentra disponible a lo largo de toda la prueba. Esto se logra utilizando unidades de medición compuestas por un detector de cambio de presión, un generador de oxígeno (celda electrolítica) y un matraz de reacción interconectados por mangueras, como se muestra en la figura 2.1. Los envases forman un sistema de medición sellado por lo que las fluctuaciones de la presión barométrica no afectan el resultado de las determinaciones.

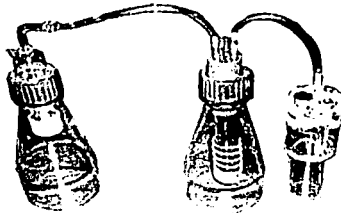


Fig 2.1 Unidades de medición.

El consumo de  $O_2$  (método respirométrico) por parte de los microorganismos de la muestra, produce un cambio en la presión inicial interna del matraz de reacción (método manométrico), esto debido a la presencia del  $CO_2$  liberado por microorganismos en el proceso de biodegradación de los contaminantes de la muestra.

La absorción del  $CO_2$  por gránulos de cal sodada crea un vacío parcial en la unidad de medición, el cual es registrado por un detector de cambio de presión.

Este activa la generación electroquímica de oxígeno a partir de una solución ácida saturada de sulfato de cobre ( $\text{CUSO}_4$ ), que es suministrado al matraz de reacción, logrando así compensar la presión interna del matraz de reacción y llevarla a la condición inicial de operación.

Una vez alcanzada esta condición, el detector de cambio de presión interrumpe la generación de oxígeno. La medida del cambio de presión es proporcional a la cantidad de oxígeno consumido, con esta medida podemos calcular el oxígeno generado, este valor nos indica el oxígeno consumido (la demanda bioquímica de oxígeno).

La relación nitrógeno/oxígeno en el espacio gaseoso sobre la muestra se mantiene a través del periodo de medición, por lo tanto no existe disminución en la concentración de oxígeno disuelto.

El método requiere agitación vigorosa dentro de la muestra, con el fin de asegurar un intercambio de gases efectivo. La temperatura de la muestra debe mantenerse por medio de un Baño María controlado.

La importancia del método implementado en este equipo, radica en que a través de éste se logrará un verdadero proceso respiratorio, ya que éste cuantificará la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos de la muestra llevándose a cabo la oxidación bioquímica de los compuestos orgánicos.

## 2.2 CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO

Para realizar el diseño de este equipo, proponemos un sistema que cumpla con las siguientes características:

- *Determinación de la DBO*, utilizando el método respirométrico y manométrico
- *Control de temperatura*, encargado de mantener una temperatura constante dentro de la muestra por medio de un Baño María
- *Agitación*, por medio de un motor de corriente directa, controlado por modulación por ancho de pulso (PWM), acoplado por medio de un agitador magnético dentro de la muestra
- *Panel de control*, que permita establecer los parámetros de: Temperatura con un intervalo de 0 a 50 grados Celsius en números enteros, agitación según la muestra (líquidos, lodos o sin agitación), despliegue de datos (temperatura, nivel de agitación y valor de la DBO), así como el control del funcionamiento del sistema (a través de funciones como: inicio, detener, continuar, reinicio, entrar dato y borrar dato)
- *Unidad de procesamiento*, encargada de determinar la DBO, llevar a cabo el control de temperatura, controlar el tipo de agitación en la muestra, procesar los parámetros del panel de control y establecer comunicación con una PC para la obtención gráfica de la curva de DBO

- *Obtención de curvas de la DBO*, basado en el desarrollo de un software que permita interpretar los datos calculados en la unidad de control, así como almacenar los datos obtenidos
- *Fuente de alimentación*, encargada de suministrar la energía necesaria para el funcionamiento del sistema
- *Contenedor*, con la función de: mantener la muestra aislada térmicamente del medio ambiente, permitir el montaje de los biorreactores, almacenar los circuitos electrónicos, así como la mecánica para la agitación

Con el diseño y desarrollo de este equipo, se pretende lograr un sistema automatizado para la determinación de la DBO utilizando tecnología propia y de bajo costo.

En la figura 2.2 mostramos el diagrama de bloques propuesto:

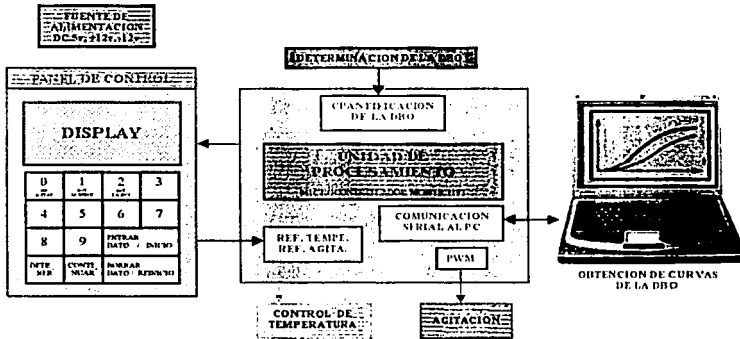


Fig 2.2 Diagrama a bloques propuesto.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

---

---

# DETERMINACIÓN DE LA DBO

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 3. DETERMINACION DE LA DBO

Para determinar la DBO, vamos a utilizar los biorreactores que se muestran en la figura 2.1.

#### 3.1 Vaso de reacción

En el vaso de reacción (figura 3.1) se coloca la muestra de agua residual, el cual tiene una capacidad de 250 ml. En la parte superior del vaso se tiene un depósito que sirve para colocar las sales de absorción de hidróxido de sodio (NaOH)

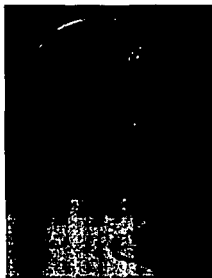
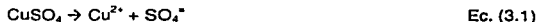


Fig 3.1 Vaso de reacción

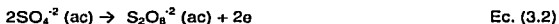
#### 3.2 Generador de oxígeno

El generador de oxígeno (figura 3.2) tiene una capacidad de 500 ml. Se basa en el principio de la celda electrolítica que contiene dos electrodos, uno de platino (ánodo) y otro de cobre (cátodo) que están separados por una membrana porosa y sumergidos en una disolución acuosa que contiene ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) y sulfato de cobre ( $CuSO_4$ ). A través de los electrodos, se hace circular una corriente eléctrica lo que conduce a un proceso de electrólisis. Para comprender la formación de oxígeno en este sistema, primero el sulfato de cobre en contacto con agua, se disocia formando iones de sulfato y cobre ( $2+$ ):



Por otro lado, la generación de oxígeno se lleva a cabo por la descomposición del agua y el anión persulfato, el cual se forma a partir de la unión de dos moléculas de sulfato.

Cuando se aplica un voltaje de al menos 2.08 Volts, en presencia de agua, forman iones bisulfato y oxígeno, tal como lo indican las siguientes semi-reacciones:



Mientras que en el cátodo se lleva a cabo la reacción de reducción del cobre, según la siguiente semi-reacción:



Fig 3.2 Generador oxígeno

Cuando se consume oxígeno, es necesario volver a generarlo para mantener el equilibrio de la presión del sistema. Sustituyendo la ecuación 1.5 en 1.6, podemos calcular la cantidad de oxígeno que deseamos generar:

$$m = \frac{M * I * t}{v * F} \quad \text{Ec. (3.5)}$$

Para generar la cantidad de 0.25 mg de oxígeno que fueron consumidos, es necesario conocer la magnitud de corriente y el tiempo en que es suministrada. Considerando un tiempo arbitrario de 36 s y despejando I de la ecuación 3.5, tenemos:

$$I = \frac{m * v * F}{M * t} \quad \text{Ec. (3.6)}$$

sustituyendo valores de la tabla 3.1:

$$I = \frac{0.25g * 2 * 96479As}{16g * 36s} = 0.0836A$$

FACTOR	CONSTANT	UNIDAD
	E	
MASA m	25	[mg]
MASA ATOMICA M	16	[g]
AMPERAJE I	83.6	[mA]
TIEMPO t	36	[s]
VALENCIA QUIMICA v	2	-
CONSTANTE DE FARADAY F	96479	[As]

Tabla 3.1

### 3.3 Detector de cambio de presión

El detector de cambio de presión, mostrado en la figura 3.3, está compuesto por una cámara interna en donde están dos electrodos, uno de ellos contenido en un tubo capilar y el otro inmerso en una solución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 0.5%. Cuando hay consumo de oxígeno se crea un vacío en el sistema, esto provoca que el nivel en el tubo capilar aumente hasta alcanzar el nivel del otro electrodo, por lo que provoca un contacto entre los electrodos y nos permite cuantificar el oxígeno consumido. El volumen del sistema, que contiene los líquidos y el espacio gaseoso, está diseñado de tal manera que, para una muestra de 250 ml, cuando se consumen 0.25 mg de oxígeno, el vacío que se crea es suficiente para provocar un cambio de nivel en líquido y poner en contacto a los electrodos. En una muestra de 250 ml una cuenta corresponde a un valor de DBO de 1 mg de oxígeno por litro.



Fig 3.3 Detector de cambio de presión



### 3.4 Circuito de detección de presión

Cuando los electrodos están en contacto por medio de la solución de ácido sulfúrico, es necesario registrar una cuenta en el consumo de oxígeno, para ello diseñamos un circuito que detecta este contacto para que active la generación de oxígeno y registre una cuenta en la unidad de control.

En la figura 3.4 se muestra el circuito que utilizamos para detectar el momento en el que se requiere registrar una cuenta y permitir la generación de oxígeno:

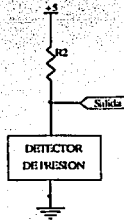


Fig. 3.4 Circuito básico del detector

El registro de las cuentas lo lleva a cabo la unidad de control, esto es, con la interrupción externa del microcontrolador (IRQ). Esta entrada del microcontrolador normalmente está en nivel alto y se genera la interrupción poniendo un nivel bajo por un tiempo menor de lo que le lleva al microcontrolador realizar la rutina de servicio de la interrupción, esto es para evitar que se generen cuentas sucesivas y se pierda la validez de las mismas.

Para esto utilizamos el circuito integrado LM311 basado en un amplificador operacional, utilizado en configuración no inversora, en el que tenemos una referencia de voltaje menor que  $V_{cc}$  y en el momento en el que haya un cambio en el detector de presión se genere un pulso en nivel alto, para hacer que el tiempo del pulso no sobrepase al tiempo de la rutina de servicio de la interrupción, utilizamos el circuito integrado monoestable 74123 activado por flanco de subida y que normalmente tiene una salida en nivel alto y genera un pulso en nivel bajo. El tiempo que dura el pulso en nivel bajo se calcula con la siguiente ecuación:

$$t_w = K * R_1 * C_1 \left( 1 + \frac{0.7}{R_1} \right) \quad \text{Ec. (3.7)}$$

Sustituyendo  $R_1=100 \text{ k}\Omega$ ,  $C_1=0.1 \text{ }\mu\text{f}$  y  $K=0.28$ :

$$t_w = 9.8 \text{ ms}$$



Al mismo tiempo esta señal nos sirve para activar la generación de oxígeno, el circuito que utilizamos se muestra en la figura 3.5.

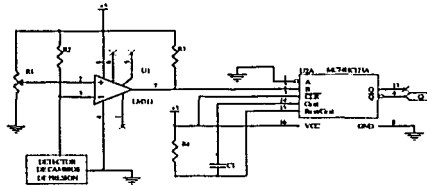


Fig 3.5 Circuito esquemático para el detector de cambio de presión

La siguiente figura muestra el circuito impreso para el detector de cambio de presión.



Fig 3.6 Circuito impreso

### 3.5 Temporizador

Para determinar el tiempo en el cual se suministra la corriente en el generador de oxígeno, es necesario diseñar un circuito temporizador, que genere un pulso de salida de 36 segundos para mantener activa la fuente de corriente.

Necesitamos de un circuito que genere un pulso de salida en respuesta a una señal de entrada. Este circuito es un multivibrador monoestable. El circuito integrado temporizador 555 puede funcionar como multivibrador astable o monoestable. Este circuito configurado como monoestable funciona de la siguiente manera: cuando un pulso cambia de nivel alto a nivel bajo aplicado a la terminal 2, en la salida se tiene un nivel alto, esto se lleva a cabo en un tiempo determinado por una resistencia y un capacitor. Cuando el voltaje del capacitor alcanza el valor de  $\frac{2}{3} V_{CC}$ , la salida cambia de un nivel alto a uno bajo. La salida está en nivel alto para el tiempo que se determina mediante la ecuación 3.4:

$$t_{alto} = 1.1R_A C_3$$

Ec. (3.8)



Despejando  $R_A$  de la ec. 3.8 y sustituyendo  $C_3=220 \mu f$ :

$$t_{alta} = 1.1(R_A)(220 \mu f) = 36s$$

$$R_A = 148.76 \text{ k}\Omega$$

$R_A$  es la suma de la resistencia  $R_3$  y el potenciómetro  $R_4$ , esto para ajustar el valor de la resistencia lo mas próximo posible.

El circuito utilizado se muestra en la figura 3.7.

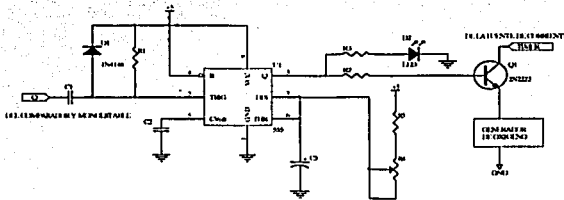


Fig 3.7 Circuito esquemático del temporizador

La siguiente figura muestra el circuito impreso del temporizador.

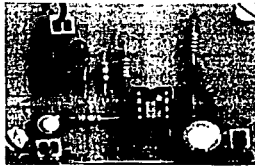


Fig 3.8 Circuito impreso

Los componentes  $R_1$ ,  $C_1$  y  $D_1$  sirven para generar un pulso de salida por cada pulso de entrada. La resistencia  $R_1$  se conecta entre  $V_{cc}$  y la terminal 2 a fin de asegurarse de que la salida permanezca en un valor bajo. El Capacitor  $C_1$  se carga a un valor  $(V_{cc} - Q)$  donde  $Q$  es el valor del voltaje del pulso de disparo, hasta que se presenta el pulso de disparo. El diodo  $D_1$  evita que el temporizador 555 dispare durante el flanco positivo de  $Q$ .

### 3.6 Fuente de corriente

Para suministrar la corriente requerida al generador de oxígeno, es necesario diseñar una fuente de corriente constante que suministre 86.3 mA. Para ello diseñamos un circuito basado en un amplificador operacional como se muestra en figura 3.9.

Al amplificador operacional LM741 le aplicamos un voltaje de referencia en la terminal no inversora, definido por las resistencias  $R_1$  y  $R_2$ . En un circuito operacional la diferencia de voltaje entre sus terminales de entrada es prácticamente 0, por lo tanto, el voltaje en la terminal inversora es el mismo. Este voltaje con respecto a tierra, está reflejado en el emisor del transistor  $Q_1$ . La diferencia de voltaje entre el emisor y  $V_{cc}$ , es el voltaje presente en la resistencia  $R_3$ . Usando la ley de Ohm, el voltaje en la resistencia  $R_3$  es  $V_{R3} = 1.2945$  V. Con el valor de voltaje y el valor de  $R_3$  aseguramos la corriente que circula en la carga. La carga está conectada al colector de  $Q_1$ , que está funcionando como una fuente de corriente, la corriente permanece constante y la caída de tensión en la resistencia  $R_3$  también permanece constante. El amplificador funciona como un seguidor de voltaje. El voltaje en la entrada no inversora es definida como un voltaje de referencia.

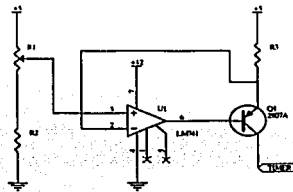


Fig 3.9 Circuito esquemático de la fuente de corriente

La siguiente figura muestra el circuito impreso de la fuente de corriente.

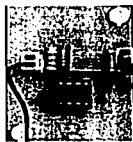


Fig 3.10 Circuito impreso

---

---

UNIDAD DE CONTROL

#### 4. UNIDAD DE CONTROL

La unidad de control es la encargada de atender la información externa proporcionada por el usuario (temperatura, agitación, inicio o suspensión del proceso) y controlar el proceso, esto es, llevar a cabo el control de la temperatura y la agitación y lo más importante cuantificar la DBO, además de proporcionar estos datos al usuario y llevar a cabo la interacción con la PC para así presentar las curvas de la DBO en forma gráfica.

La unidad de control consta de dos partes:

1. Unidad de procesamiento, encargada de controlar el proceso.
2. Unidad para la interacción con el usuario, la cual consta de dos partes:
  - Teclado, da la posibilidad de manipular el proceso.
  - Pantalla de despliegue, proporciona la información dada por el usuario y la determinada por la unidad de procesamiento.

##### 4.1 Unidad de procesamiento.

Para esta unidad es necesario un dispositivo que pueda ser capaz de recibir, enviar y procesar datos, realizar cálculos en tiempo real (cuantificar la DBO, medir y controlar la temperatura, generar PWM), almacenar datos, proporcionar una conexión a la PC.

Por esto utilizamos un microcontrolador, ya que este además de cubrir estas necesidades, se puede usar en cualquier ámbito industrial, doméstico, robótica, etc. Al ser fácil de entender su arquitectura, se usa bastante como herramienta de inicio a la programación en los institutos de desarrollo tecnológico. A la hora de programar no son muy complicados, tengamos en cuenta que se programan en lenguaje ensamblador, aunque actualmente han aparecido compiladores de C e incluso intérpretes de BASIC.

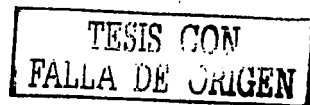
##### 4.1.1 Introducción a los microcontroladores

###### *Microprocesadores*

Se habla de microprocesadores cuando la Unidad de Procesamiento Central CPU (Unidad de Control UC + Unidad Lógica Aritmética ALU), está contenida en un circuito integrado.

###### *Microcontroladores*

Se habla de microcontroladores cuando el sistema digital completo (microprocesador + entrada/salida + memoria + otros periféricos) está contenido en un circuito integrado.



Las características más importantes del microcontrolador son:

- 1) Sistemas embebidos. Normalmente los microcontroladores estarán incluidos en sistemas mayores y tendrán convertidores analógico/digital para recibir las señales del sistema exterior, y una vez procesadas, actuar sobre éste mediante actuadores.
- 2) Dispositivos de tiempo real.
- 3) Dispositivos de tiempo compartido. Dedicar un poco de tiempo a cada cosa, porque es mucho más rápido que los periféricos.

Los microcontroladores son una evolución de los primeros microprocesadores que aparecieron por el año 1976 (8048 Intel, 6805 Motorola). En aquella época los microprocesadores no se podían utilizar en condiciones extremas (polvo, calor, humedad, etc.) por lo que se decidió integrar todo este potencial en circuitos integrados más pequeños (microcontroladores). Fueron creados por Intel a principios de los 80's y han sido reintroducidos por Philips en el ámbito de los aparatos electrodomésticos, aunque Siemens, Almel, y otros han seguido sus pasos. Actualmente podríamos decir que un microcontrolador es un sistema integrado totalmente en una sola pastilla. Tenemos que entender que estos microprocesadores no alcanzan el nivel de procesamiento comparado con el 8086 de Intel, aunque poseen la ventaja de poder trabajar sin memoria externa.

Estas son algunas de sus principales características:

- Capacidad de procesamiento de 8 bits, aunque actualmente han aparecido microcontroladores de 12, 16 e incluso 32 bits
- Circuito de reloj incorporado
- RAM interna de 128 bits como mínimo
- ROM interna de 4KB mínimos
- Frecuencias de reloj de hasta 30 Mhz
- Múltiples puertos de entrada/salida programables, incluso dependiendo de la versión, poseen convertidores digital/analógico
- Bajo consumo de energía (versiones en CHMOS)
- Son muy inmunes al ruido eléctrico
- Su juego (Set) de instrucciones posee gran potencial en cuanto al cálculo de tablas y adquisición de datos
- Espacios de memoria de trabajo separados. Podemos separar la ROM interna + RAM externa y usar sólo RAM externa
- Encriptación de programas en la memoria ROM
- Posee un sistema que vigila el funcionamiento óptimo de la CPU ("Perro Guardián" Watch Dog)
- Posibilidad de comunicación serie con otros sistemas, admite FULL-DUPLEX, RS232, RS432, etc.
- Posibilidad de salida en algunos de sus puertos de pulso PWM

- 2 o 3 temporizadores de 16 bits
- 5 o 6 Interrupciones programables con niveles de prioridad

Algunas de las características de los microcontroladores por las cuales se puede hacer selección de ellos son:

- El tipo de arquitectura que utilizan, Von Neumann o Harvard
- El juego de instrucciones RISC o CISC
- Memoria interna y externa

#### 4.1.1.1 Arquitecturas Von Neumann o Harvard

Una arquitectura hardware es la configuración física en que se disponen los componentes de un microcontrolador, y que está dirigida a encaminar los datos de una forma determinada. La mayor parte de los microcontroladores actuales usan una arquitectura interna llamada Von Neumann. En ella la memoria de programa contiene instrucciones y datos "mezclados" y no se dispone más que de un bus llamado bus de datos, por el que circulan a la vez instrucciones y los datos asociados a ellas. Esto tiene como ventaja que necesita menor número de pines de conexión a memoria, pero por otro lado, el inconveniente es que pueden aparecer, a menudo, cuellos de botella en el bus de datos.

Esta arquitectura plantea problemas cuando se quiere hacer funcionar el conjunto rápidamente. Entonces es preferible usar la arquitectura Harvard en la cuál las instrucciones y los datos están claramente diferenciados y emplean buses diferentes, mejorando enormemente la velocidad de ejecución de los programas. Se consigue aumentar el ancho de banda, pudiendo traer datos e instrucciones a la vez, y ambos pueden tener tamaños diferentes. Esta se ilustra con mayor detalle en la figura 4.1.

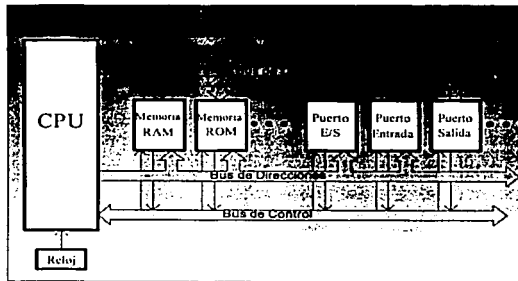


Fig 4.1 Configuración física de la arquitectura Harvard



#### 4.1.1.2 Juego de instrucciones RISC / CISC

El juego de instrucciones son las distintas órdenes o comandos de programación que se pueden usar en un microcontrolador.

Las características de los procesadores CISC (Complex Instruction Set Computer) son:

- Conjunto de instrucciones amplio
- Instrucciones complejas
- Instrucciones microprogramadas (cableadas)
- Uso extensivo de direccionamiento a memoria en sus diferentes formas (inmediato, directo, indirecto, indexado y relativo)
- Número de registros relativamente pequeño

Todo esto hace que las instrucciones máquina de los CISC se parezcan a los lenguajes de alto nivel.

Por tanto se pueden sacar dos conclusiones:

- 1) Un conjunto de instrucciones cercano a los lenguajes de alto nivel no es muy eficiente:
  - Las instrucciones complejas encarecen el producto
  - Las instrucciones complejas se usan con poca frecuencia, en la mayoría de las aplicaciones
  - Conviene optimizar la velocidad de las operaciones más usadas
- 2) El modo de direccionamiento más eficiente es el direccionamiento a registro.

Las características de los procesadores RISC (Reduced Instruction Set Computer) son:

- Se trata de conseguir una instrucción por ciclo de máquina (ciclo de reloj). Para ello se enfatiza en la segmentación
- Ausencia de microprogramas
- Modos de direccionamiento sencillos:
  - Direccionamiento a registro en casi todas las instrucciones (inmediato, directo e indirecto). Existen bancos o ventanas de registros
  - Al tener pocos modos de direccionamiento se reduce el conjunto de instrucciones y se simplifica la unidad de control

- Las operaciones se realizan entre registros y el acceso a memoria está limitado a las instrucciones LOAD y STORE, con las siguientes consecuencias:
  - El conjunto de instrucciones se simplifica y por lo tanto se simplifica también la unidad de control
  - El tamaño de las instrucciones se reduce
  - Se necesitan más instrucciones para efectuar una operación, pero una vez cargados los operados en los registros la velocidad aumenta
- Formatos de instrucciones sencillos:
  - Composición de longitud fija (esto permite realizar en paralelo la decodificación de una instrucción y buscar la siguiente)
  - Se facilita la búsqueda de las instrucciones
  - Se simplifica la unidad de control

#### Ventajas de RISC sobre CISC

Todas las ventajas que ofrece una arquitectura RISC frente a una CISC se reducen a una:

"Tiene un juego de instrucciones menor y más sencillo".

Y ésta da lugar al resto de ellas:

- Con instrucciones más sencillas los compiladores tienen más posibilidades de optimizar el código resultante. La mayor parte de las instrucciones que genera un compilador son relativamente simples, y una unidad de control optimizada para estas instrucciones puede ser más rápida que un procesador CISC comparable
- Un conjunto de instrucciones reducido facilita la segmentación de éstas ("pipeline")
- Las interrupciones se atienden normalmente entre instrucciones. La respuesta a las interrupciones puede ser más rápida en RISC
- El criterio básico que determina el precio de un microcontrolador es su tamaño:
  - Un CISC dedica típicamente el 50% del tamaño a la unidad de control
  - Un RISC puede dedicar alrededor de un 6%

#### 4.1.1.3 Tipos de memorias

No toda la memoria de una computadora tiene las mismas características desde el punto de vista tecnológico. En términos generales, los dispositivos de memoria pueden clasificarse en RAM (memoria de acceso aleatorio) y ROM (memoria de sólo escritura), sin embargo, tanto en RAM como en ROM tenemos una gran variedad de subtipos de memoria, algunos de los cuales se describen a continuación:

**MEMORIA RAM.-** Se le llama memoria de acceso aleatorio no porque se pueda leer y escribir, sino porque puede accederse de manera no secuencial. Se dice que es memoria volátil porque la información almacenada en ella se pierde al retirarle la energía, por ello en RAM sólo se guarda información temporal.

**DRAM o RAM dinámica.-** Este es el tipo de RAM más comúnmente usado. Internamente está compuesto por microcapacitores de pequeña capacidad, que almacenan la información mediante la carga y la descarga, que equivalen a 1 y 0 lógicos, respectivamente. Son de bajo costo, pero tienen el inconveniente de que pierden su carga, y por tanto la información demasiado rápido, por lo que deben ser constantemente "refrescados" con una nueva carga. Una computadora puede perder un 7% de tiempo aproximadamente en "refrescar" los DRAM.

**SRAM o RAM estática.-** Su diseño interno está hecho basándose en transistores que almacenan la información cuando son polarizados en corte o saturación, correspondientes a los estados lógicos 1 y 0, respectivamente permaneciendo en esta condición hasta que se cambia la información. No necesitan ser "refrescados", son muy veloces pero mucho más costosos que los DRAM.

**MEMORIA ROM.-** Es una memoria de sólo lectura. Su contenido es absolutamente inalterable, desde el instante en que el fabricante graba la información en el chip, por lo tanto la escritura de este tipo de memorias ocurre una sola vez y queda grabado su contenido aunque se le retire la energía debido a esto se dice que es memoria no volátil. Su contenido se graba durante su construcción y no se puede cambiar. Son memorias perfectas para guardar microprogramas, sistemas operativos, tablas de conversión, generación de caracteres, etc.

Una computadora siempre usa la ROM donde tiene guardados programas y los datos necesarios para activar y hacer funcionar la computadora y sus periféricos. La ventaja de tener los programas fundamentales almacenados en la ROM es que evita la necesidad de cargarlos en la memoria desde algún dispositivo externo. Debido a que están siempre residentes, los programas en ROM son muy a menudo los cimientos sobre los que se construye el resto de los programas.

**MEMORIA PROM.-** Tal como indica su nombre: Programable ROM estas memorias son programables, se entregan vírgenes al programador el cual mediante un dispositivo especial (programador de memorias), las programará grabando en ellas los datos que considera de interés para su trabajo.

El proceso de programación es destructivo: una vez grabada es como si fuese una ROM normal. A éstas también se les llama memorias OTP (One Time Programmable).

**MEMORIA EPROM Y RPPROM.-** Estas memorias son similares a las PROM pero con la diferencia que se pueden borrar y volver a grabar varias veces. Existen dos tipos de memorias según el proceso de borrado de las mismas:

**Memoria EPROM.-** Se trata de una PROM, de la que se puede borrar (erasable PROM) la información mediante luz ultravioleta. Para esta operación, es necesario que el circuito integrado disponga de una ventana de cuarzo transparente a la luz ultravioleta. El tiempo de exposición a la luz ha de ser corto, pero variable según el constructor. Para aplicar la luz ultravioleta se precisa un dispositivo especial (borrador de memorias). Una vez borrados los datos de la EPROM se necesita disponer de un grabador especial para introducir nuevos datos.

**Memoria RPPROM o EEPROM.-** Los datos contenidos en este circuito integrado se borran eléctricamente si se aplican a las entradas valores de voltaje oportunos. Para el borrado de los circuitos RPPROM, como para la programación, se necesita un programador especial. Las memorias EEPROM no pueden tratarse como si fuesen RAM no volátiles, pues aunque pueden leerse igual que una ROM o RAM, su escritura es un proceso mucho más lento y que requiere voltajes y corrientes más elevados que en la lectura.

**MEMORIA FLASH.-** Son memorias EEPROM de un tipo especial que permite una alta velocidad de escritura.

#### 4.1.2 Selección del microcontrolador

Los microcontroladores que actualmente se encuentran en el mercado son fabricados principalmente por, Motorola, National Semiconductor, Atmel, Microchip, etc.

Todos ellos cuentan con alguna familia cuyas características cumplen con las requeridas en este proyecto. Sin embargo, debido a que contamos con cierta experiencia en el desarrollo de aplicaciones con microcontroladores Motorola y se dispone de las herramientas necesarias para llevar a cabo todo el proceso, entonces para no prolongar demasiado los tiempos de desarrollo optamos por trabajar con el microcontrolador MC68HC11F1 de Motorola.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

4.1.3 Características del microcontrolador MC68HC11F1

El circuito integrado MC68HC11F1 puede operar como un sistema completo ya que dispone de los elementos necesarios para diseñar una máquina programada del tipo Von Neumann; Unidad de proceso (controlador y operador de datos), memoria (RAM, ROM / PROM / EPROM, y EEPROM) y puertos de entrada/salida. Cada uno de estos módulos se presentan en el diagrama de bloques de la figura 4.2.

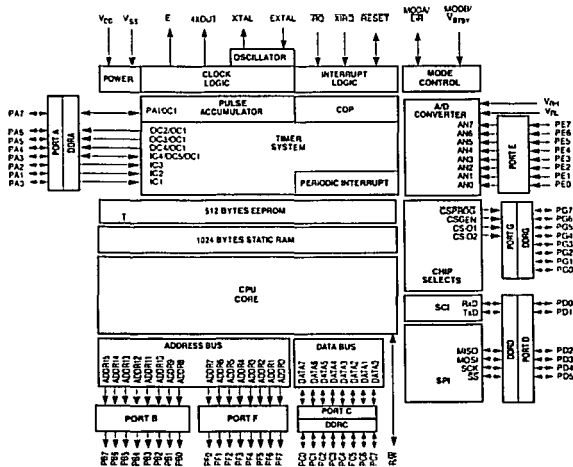
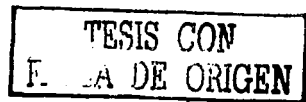


Fig 4.2 Diagrama a bloques: MC68HC11F1

Desde un punto de vista de tecnología electrónica, este microcontrolador se basa en circuitos HCMOS, y de forma general utiliza un reloj de hasta 2 Mhz. Se puede elegir diferentes tipos de configuraciones, tanto en tamaño y tipo de memoria (ROM, OTP EPROM, EEPROM...) como en el tipo de puertos de entrada/salida. Esto es, este sistema permite implementar las operaciones básicas de cualquier sistema programado.



Los recursos internos disponibles en el modelo F1 son:

- MC68HC11 Unida de Proceso Central (CPU)
- 512 Bytes de EEPROM interna
- 1024 Bytes de RAM interna
- 7 puertos de 8 bits, con pines de entrada, salida y de entrada/salida
- Temporizador principal de 16 bits (3 Capturadores de entradas (IC), 4 Comparador de salida (OC))
- 2 entradas de interrupciones externas
- Interrupciones en tiempo real
- Acumulador de pulsos externos de 8 Bits
- Un módulo de comunicaciones serie síncronas (SPI)
- Una UART para comunicaciones serie asíncronas (SCI)
- Convertidor analógico/digital de 8 canales y 8 bits de resolución
- Velocidad del bus de 5 Mhz

Los modos de funcionamiento básico, dependiendo del tipo de la aplicación son:

- Single chip: Todo los recursos necesarios se encuentran en el propio circuito integrado. Es el recomendado para aplicaciones en las que el programa de control se puede grabar en la memoria interna (ROM) y las necesidades de almacenamiento de variables temporales no superan el tamaño de la memoria RAM. Se consiguen una mayor fiabilidad en el hardware y simplicidad en el diseño de la placa, además se dispone de todos los puertos
- Modo Expandido: Utilizando dos puertos de entrada/salida, se dispone del bus de direcciones y del de datos, de forma que se puede utilizar zonas del mapa de memoria que en el modo "single chip" no se utilizan. La técnica de acceso a los dos buses se basa en la multiplexación de señales (LSByte del bus de direcciones y el bus de datos) por un puerto
- Bootstrap: Permite una transferencia rápida de datos entre un sistema externo y la memoria interna del microcontrolador. En este modo los vectores de interrupción se encuentran en otras posiciones de memoria
- Test: Utilizado únicamente en la fabricación del mismo

Registros de la unidad de procesamiento central (CPU)

Los registros de la CPU del microcontrolador (figura 4.3) son los acumuladores A y B, de 8 bits que pueden operar como un único registro de 16 bits (acumulador D). Dos registros de índice IX y IY, un registro apuntador de pila (Stack) y un contador de programa, todos ellos de 16 bits. El registro de condición de código (CCR) permite monitorear el resultado de algunas operaciones de la CPU.

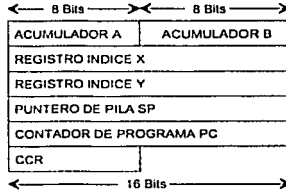


Fig 4.3 Registros de la unidad control.

El apuntador de pila debe ser inicializado por el usuario. La pila "crece" de direcciones altas a direcciones bajas, por lo que al introducir un elemento en la pila, SP se decrementa en 1 ó 2 bytes dependiendo del tamaño del dato metido en la pila. Al sacar un elemento de la pila, SP se incrementa. Es importante dar al SP un valor "seguro" de tal manera que la pila no se traslape con el código, si es que el código se encuentra en la memoria RAM.

El contador de programa (PC) se va incrementado según se van ejecutando las instrucciones. Por tanto, los programas se ejecutan desde direcciones bajas a direcciones altas y la pila crece de direcciones altas a direcciones bajas.

El registro CCR es de 8 bits, Donde cada bit tiene una letra asignada y representa una situación diferente del estado de la CPU. Este registro se muestra en la figura 4.4.

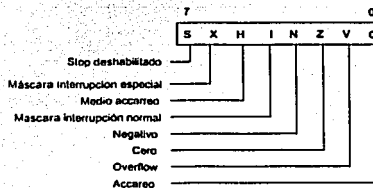
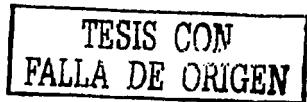


Fig 4.4 Registro CCR



Debido a las características del sistema implementado para este trabajo, las memorias internas del microcontrolador no son suficientes para el almacenamiento del programa y de los datos adquiridos en el mismo, por lo tanto se propone el uso del microcontrolador en el modo expandido, por lo que las características del microcontrolador son modificadas de la siguiente manera:

Cuando el microcontrolador se configura para funcionar en el modo expandido, es decir, con la capacidad de redireccionar 64k de memoria, se ve obligado a generar un bus de direcciones, uno de datos y uno de control. De esta manera, el microcontrolador deja que su CPU interna tenga acceso al exterior, por lo que a partir de aquí, de alguna manera, el microcontrolador comienza a funcionar como un microprocesador.

Dicho microprocesador tiene una potencia razonable regida por un bus de datos de 8 bits, y un bus de direcciones de 16 bits, por lo que su espacio de direccionamiento es de 64kbytes de memoria plana. Este mapa de memoria es plano y comparte espacio con los puertos que se incorporen a nuestro sistema y todos los registros internos del microcontrolador. En caso de que se superpongan registros internos del microcontrolador con dispositivos externos como pueden ser secciones de memoria, etc., el gestor de bus da prioridad a los internos dejando de lado los restantes.

Mediante la utilización del PUERTO B, el microcontrolador lleva al exterior la parte alta del bus de direcciones y, por medio del PUERTO F, el microcontrolador lleva al exterior la parte baja del bus de direcciones.

El PUERTO C se presenta al exterior como el bus de datos.

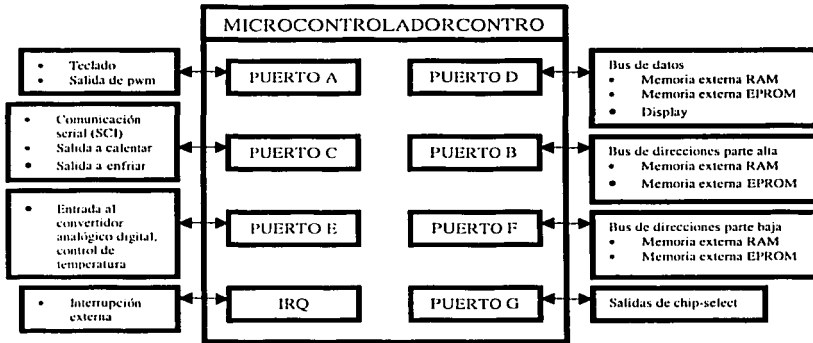
La señal de R/W es usada para el control de dirección de la transferencia de datos.

El PUERTO G se puede utilizar como salidas de "chip-select". El "chip-select" elimina la necesidad de componentes externos para la interfaz con componentes externos en este modo de operación.

Con base a las características de este microcontrolador se hizo la distribución de puertos de entrada y salida, conexión de la interrupción externa y de las memorias externas, para llevar a cabo la manipulación y el control del proceso.



Quedando la distribución de la siguiente manera:



El circuito utilizado es el siguiente:

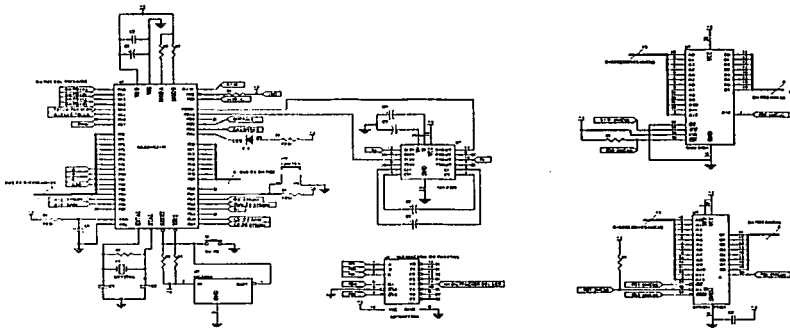


Fig 4.5 Circuito esquemático de la unidad de procesamiento

La siguiente figura muestra el circuito impreso de la unidad de procesamiento:

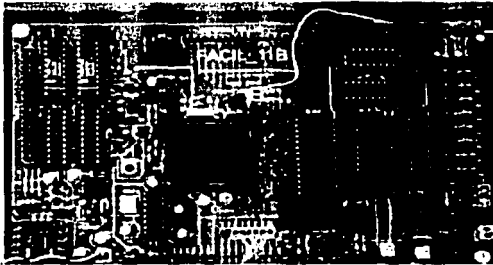


Fig 4.6 Circuito impreso de la unidad de procesamiento

#### 4.2 Unidad para la interacción con el usuario.

Esta unidad es una interfaz con el usuario para ejercer el control sobre el sistema (como lo es la temperatura y el tipo agitación) y mostrar la información sobre su estado (temperatura medida y cuantificación de la DBO) por medio de una pantalla de despliegue. Logrando así una interfaz amigable y fácil de utilizar.

##### 4.2.1 Teclado

El teclado permite un control ágil y sencillo de todo el equipo por medio de números (0-9) y de las siguientes funciones:

- ENTRAR DATO: Para aceptar los datos proporcionados por el usuario
- BORRAR DATO: Para eliminar los datos introducidos por el usuario
- DETENER: Para detener momentáneamente el proceso y modificarlo
- INICIO: Para dar inicio al proceso
- REINICIAR: Para reiniciar el proceso
- CONTINUAR: Para continuar con el proceso actual
- SIN AGITAR: Para mantener el proceso sin agitación
- AGITAR LIQUIDOS: Para mantener el proceso con la agitación adecuada para líquidos
- AGITAR LODOS: Para mantener el proceso con la agitación adecuada para lodos

Para lo anterior utilizamos una matriz de interruptores de contacto (push button) para las teclas, un circuito integrado controlador de teclado 74922 y un circuito flip flop 7474 para el control del circuito 74922, con el fin de liberar de carga al microcontrolador, ya que estos circuitos integrados realizan la codificación en hexadecimal e indican cuando se oprime una tecla lo cual facilita en mucho la manipulación de los datos proporcionados por el usuario.

El circuito esquemático que utilizamos es el siguiente:

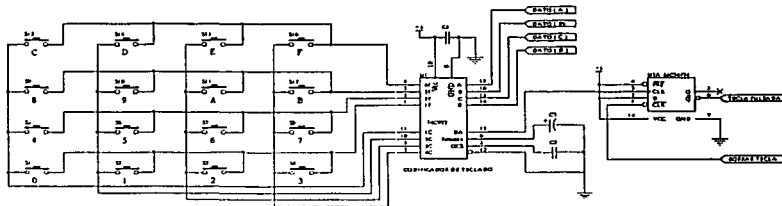


Fig 4.7 Circuito esquemático del teclado

Las siguientes figuras muestran los circuitos impresos del teclado:

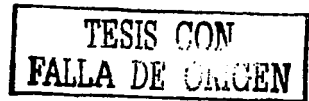


Fig 4.8 Circuitos impresos del teclado

#### 4.2.2 Pantalla de despliegue

La pantalla de despliegue debe mostrar la información proporcionada por el usuario, esto es: seleccionar la temperatura y tipo de agitación, estado actual del proceso, todo esto de forma alfanumérica.

Para esto proponemos utilizar una pantalla de cristal líquido de 16 dígitos con dos renglones, ya que con ello es suficiente para mostrar la información requerida.



La pantalla de cristal líquido que utilizamos es de la marca: Tianma Microelectronics Co. y modelo: TM162AAA6-2 que se muestra en la siguiente figura.



Fig 4.9 Pantalla de cristal líquido

### 4.3 Control de temperatura

Hay tres categorías generales de circuitos de control de estado sólido para calefactores eléctricos: controles TODO o NADA (ON/OFF), controles de fase y controles proporcionales con conmutación integral (ciclos completos).

Los circuitos de control de fase utilizados para controles de iluminación son muy efectivos para el control de temperatura, salvo en que lo respecta a la generación de interferencias de radiofrecuencia (IRF). En aplicaciones de alta potencia las interferencias pueden alcanzar tal magnitud que los filtros, para suprimirlas, se tornan voluminosos y caros.

Los controles del tipo "ON/OFF" pueden entregar a la carga solo dos niveles de potencia. Es decir, los elementos calefactores están ya sea conectados o desconectados a su alimentación. Debido a las constantes de inercia térmica, estos controles producen una acción cíclica que alterna periodos de sobrecalentamiento con periodos de subcalentamiento, es decir, no mantienen una temperatura constante porque aparecen pequeñas variaciones con respecto a la temperatura de referencia.

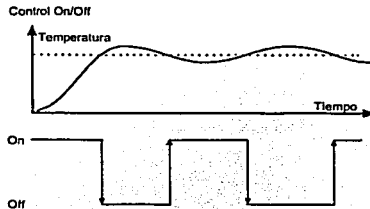


Fig 4.10 Control todo o nada.

En muchas ocasiones es posible minimizar esta oscilación mediante estrategias adicionales como puede ser el uso de banda muerta figura 4.11 (a) o la inclusión de lazos de histéresis figura 4.11 (b).

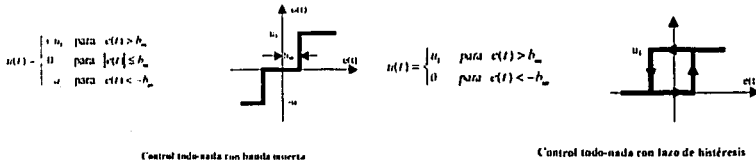


Fig 4.11 (a)

Fig 4.11 (b)

La selección de este tipo de controles depende por lo general de su aplicación. Casi siempre el control con banda muerta se usa en aplicaciones donde es posible ejecutar acción de control tanto positiva como negativa. Tal sería el caso de un posicionador por cambio de sentido de giro de un motor, o un sistema térmico que cuente con la posibilidad de calentamiento y enfriamiento.

Este efecto se corrige y además se disminuye la generación de IRF, mediante el uso de circuitos que emplean como principio de funcionamiento un control proporcional con conmutación sincrónica (por ciclos completos). La relación entre el tiempo de conducción y el tiempo de bloqueo (ciclo de trabajo) depende de la potencia requerida por los elementos calefactores para mantener la temperatura deseada.

Debido a que el sistema que estamos desarrollando es un prototipo y que el sistema de enfriamiento utilizado no es modificable, no es posible realizar el control proporcional con conmutación sincrónica, por lo tanto proponemos el control "ON/OFF" con histéresis, para así tratar de tener un control lo más estable que sea posible en el momento en que la temperatura se acerque al valor deseado.

#### 4.4 Control de agitación

El control de agitación como ya se dijo en la propuesta de diseño se basa en un control por Modulación de Ancho de Pulso (PWM).

PWM se refiere a un método de llevar información en un tren de pulsos, la información es codificada en el ancho de los pulsos. En aplicaciones de control de movimiento, no es exactamente información lo que se codifica, pero es un método de bajas pérdidas.

La PWM se basa en establecer una frecuencia fija e ir variando el tiempo del pulso en nivel alto de 0% al 100%, con esto se puede controlar la cantidad de energía que se le entrega a un motor u otro dispositivo, la frecuencia se establece dependiendo del tipo y características del motor a controlar, para así obtener el mejor control posible.

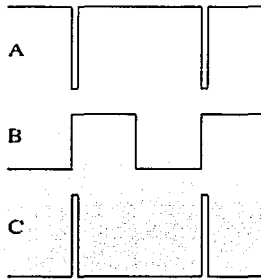


Fig 4.12 PWM

En la figura 4.12 podemos ver tres señales de PWM con la misma frecuencia, en la figura 4.12 (A) se tiene un ciclo de trabajo del 90 %, en la figura 4.12 (B) se tiene un ciclo de trabajo del 50 %, en la figura 4.12 (C) se tiene un ciclo de trabajo del 10 %.

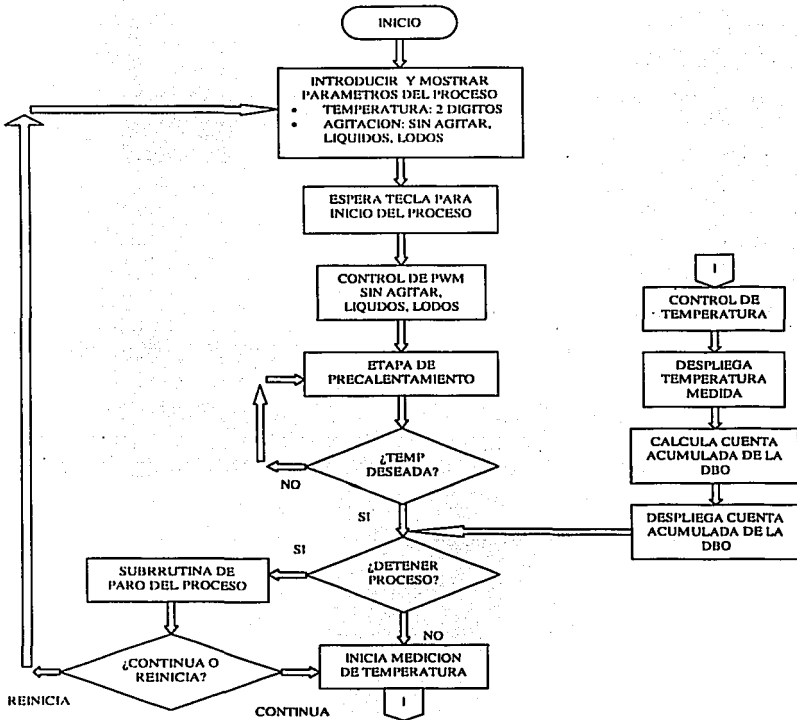
La mayor ventaja de un circuito PWM respecto a un controlador resistivo (variar el voltaje del motor) es su muy buena eficiencia. Una ventaja adicional del PWM es que es capaz de alcanzar el máximo voltaje de la fuente, produciendo un mayor par del motor. Finalmente un circuito PWM con pequeños potenciómetros puede ser utilizado en el control de un amplio rango de cargas.

La desventaja del PWM es que agrega un poco más de complejidad a los circuitos y la posibilidad de generar RFI(radio interferencia)

4.5 Programación del microcontrolador.

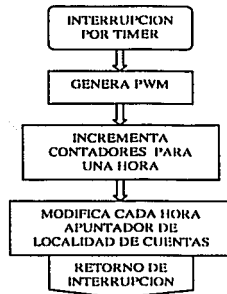
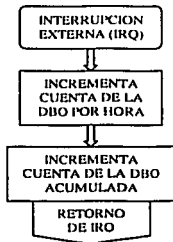
La programación del microcontrolador esta basada en las características necesarias para una óptima manipulación del sistema, a partir del proceso que se muestra en los siguientes diagramas de flujo.

4.5.1 Diagrama de flujo general del proceso



TESIS CON  
FOLIA DE ORIGEN

4.5.2 Diagramas de flujo generales por interrupciones



A continuación se explica cada bloque de los diagramas anteriores ejemplificando el funcionamiento del sistema en general.





#### 4.5.3 Lógica de programación del microcontrolador

En el diagrama de flujo general se inicia el proceso solicitando los datos que determinarán las características del proceso, la temperatura debe ser asignada en grados Celsius y en números enteros, con un intervalo de 0 – 50 ° C, la agitación se presenta en tres casos; sin agitar, agitar líquidos, agitar lodos, con la asignación de estas modalidades el programa determina el valor adecuado para lograr una agitación vigorosa que le permita a la muestra tener una homogeneidad en su contenido.

En este momento el programa espera a que el usuario de inicio al proceso por medio de la tecla de INICIO, de esta forma le da la oportunidad al usuario para que indique el momento de empezar.

Una vez que inicia el proceso se toma el dato de agitación que se asignó, con el cual se va a generar una señal de PWM, esto se logra con la interrupción del timer del microcontrolador de la que se hablará más adelante.

Ahora se procede a una etapa de precalentamiento, con la cual se pretende alcanzar la temperatura designada por el usuario, esto se logra tomando el valor del convertidor analógico/digital el cual esta conectado a un transductor de temperatura del cual se hablará en el próximo capítulo. El valor obtenido se procesa para obtener la temperatura que se tiene en el Baño María, la cual se compara con el valor deseado de temperatura, si la temperatura medida es mayor a la deseada, se manda un nivel alto al pin 3 del puerto C del microcontrolador hasta alcanzar la temperatura deseada, el cual esta conectado a la etapa que controla el recirculador de agua fría, del cual se hablará en el próximo capítulo. Si la temperatura es menor que la deseada se pone el nivel alto en el pin 4 del puerto C del microcontrolador, el cual esta conectado a una etapa que controla el calentamiento por medio de una resistencia, del cual se hablará en el próximo capítulo. Una vez alcanzada la temperatura deseada termina este precalentamiento y continúa un ciclo continuo del proceso.

El ciclo continuo del programa inicia revisando si alguna tecla fue pulsada. Si lo fue, compara con la correspondiente a DETENER, la cual da la posibilidad al usuario de detener momentáneamente el proceso para hacer algún cambio en la muestra, etc., y después continuar con el mismo, además da la posibilidad de reiniciar por completo el proceso en caso de que ocurra algún error durante el proceso.

Si no se presiona alguna tecla el proceso continúa con la medición de temperatura, para la cual se inicializan los registros del puerto E y se inicia la conversión analógica/digital en el microcontrolador, una vez terminada la conversión se toma este valor y se convierte el número en decimal de la siguiente manera:

El convertidor digital del microcontrolador solo acepta niveles de voltaje entre 0 y 5 volts y la realiza con 8 bits de resolución, para determinar los niveles de cuantificación o el número de partes que se puede dividir el intervalo de 5 volts, esto es:

$$\frac{5}{2^8 - 1} = \frac{5}{255} = 0.0196078$$

Se tienen 255 partes de 0.0196078 volts c/u, quedado los valores correspondientes en la tabla de la figura 4.13.

VOLTS	N° BINARIO	N° HEXADECIMAL
5	11111111	FF
4.9803	11111110	FE
4.9607	11111101	FD
4.9411	11111100	FC
4.9215	11111001	FB
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....
0.0784	00000100	04
0.0588	00000011	03
0.0392	00000010	02
0.0196	00000001	01
0	00000000	00

Figura 4.13 Tabla de conversión

Como podemos ver si el valor en voltaje lo multiplicamos por 10 tenemos el valor de temperatura medido en grados Celsius, esto se verá en el próximo capítulo. Ahora para obtener valor en decimal, se toma el valor del convertidor analógico/digital se multiplica por la parte entera de 0.0196 que es 196 en decimal ó C4 en hexadecimal, quedando un número divisible por 10,000<sub>d</sub> - 2710<sub>h</sub>, obteniendo el entero más significativo, el residuo de la división ahora se divide por 1,000<sub>d</sub> - 3E8<sub>h</sub>, obteniendo el segundo entero, así sucesivamente se divide por 100, 10, con los que se obtiene la parte decimal del número, obteniendo un número de dos dígitos enteros y dos decimales.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Ejemplo: Si la conversión da como resultado  $10000000_b = 80_h = 128_d$ .

$$80_h * C4_h = 6200_h = 25088_d$$

$$\frac{6200_h}{2710_h} = 2_h = 2_d \quad \text{primer valor entero}$$

$$\text{el residuo es : } 13E0_h = 5088_d$$

$$\frac{13E0_h}{3E8_h} = 5_h = 5_d \quad \text{segundo valor entero}$$

$$\text{el residuo es : } 058_h = 088_d$$

$$\frac{058_h}{64_h} = 0_h = 0_d \quad \text{primer decimal}$$

$$\text{el residuo es : } 58_h = 88_d$$

$$\frac{58_h}{0A_h} = 8_h = 8_d \quad \text{segundo decimal}$$

Por lo tanto la temperatura medida es  $25.08^\circ \text{C}$ , equivalente a los 2.508 volts de la muestra que es tomada por el convertidor. Una vez que ha sido calculada la temperatura se compara con la deseada y se decide si se calienta o se enfría el agua del Baño María. A la vez que se despliega la temperatura en la pantalla de cristal líquido. Después se toma el valor acumulado de la DBO y se calcula el valor decimal de manera muy similar a la temperatura y se despliega en la pantalla de cristal líquido expresado como mg/l.

Con esto ya tenemos la información procesada por el microcontrolador desplegada para ser monitoreada por el usuario.

De aquí el programa regresa a verificar si alguna tecla fue pulsada y continúa el ciclo, a menos que ocurra alguna interrupción ya sea por IRQ, TIMER o SCI.

La interrupción más importante en el proceso es la de IRQ ya que esta determina las cuentas de la DBO, cuando ocurre esta interrupción el programa salta a la rutina de servicio de ésta, en la cual se incrementa el contenido de una localidad de memoria, esta localidad va cambiando cada hora, esto quiere decir que la DBO se va agrupando en paquetes de una hora suficientes para tener una buena lectura del proceso de determinación de la DBO. Así mismo se incrementan dos localidades para formar una de 16 bits ya que el valor de la DBO generalmente sobrepasa los 8 bits. En esta localidad se tienen las cuentas acumuladas que son desplegadas en la pantalla de cristal líquido, al final de la interrupción el programa continúa en la parte del proceso en que se quedó.

La interrupción por TIMER se genera para proporcionar el PWM necesario para la agitación, así como un reloj interno que nos proporciona el momento en que transcurre cada hora, para el cambio de localidad de cuentas de DBO.

Esto se logra si el temporizador se incrementa cada 500 ns y el comparador TOC2 del microcontrolador se pone con 200, por lo tanto se genera una interrupción cada 100  $\mu$ s, esta es nuestra base de tiempo, con ella se tiene un contador de 16 bits el cual se incrementa con esta base de tiempo. Así al llegar a un valor de 36 millones se tiene que ha transcurrido una hora y en ese momento se incrementa el apuntador de la localidad de las cuentas de la DBO.

También con esa base de tiempo se genera el PWM. Se tiene un contador que se va incrementando cada 100  $\mu$ s, el cual se compara con un control que definimos para dar el ancho del pulso, mientras sea menor se mantiene un nivel alto en el pin 7 del puerto A, en el momento que son iguales se pone en nivel bajo.

Con un tope predeterminado se genera la frecuencia. Por ejemplo, si el tope es 200 que multiplicados por 100  $\mu$ s dan 0.02 s por lo tanto tenemos una frecuencia de 50 Hz, si el valor del control es 20 que multiplicado por 100  $\mu$ s dan 0.002 s que es el tiempo que dura el pulso en alto, teniendo un ciclo de trabajo del 10 %, como se puede apreciar en la figura 4.14.

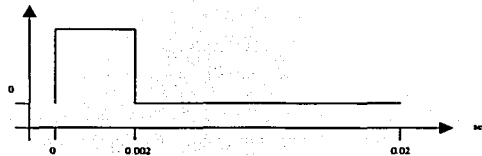


Fig 4.14 PWM para 50 Hz

El tope nos permite modificar la frecuencia y controlar el ancho del pulso siempre con la base de tiempo de 100  $\mu$ s. Cuando se introducen los valores de agitación, el programa asigna el valor correspondiente para lograr una agitación adecuada para cada caso, en el caso de sin agitación se le asigna un 0, por lo tanto el programa hace una comparación con este valor y siempre permanece en nivel bajo el pin 7 del puerto A eliminando así la generación de PWM, al fin de la interrupción el programa continúa en la parte del proceso en que se quedó.

La última interrupción que puede ser generada en este programa es la del SCI. Esta se ejecuta cada vez que llega un dato nuevo. Previamente se asignan datos en los registros de control del SCI como es la velocidad de comunicación que para este caso se establece en 9600 baudios así como establecer que son 8 bits de datos y se habilita la interrupción. En la rutina de servicio de esta interrupción se verifica qué fue lo que la provocó. Una vez confirmada que la interrupción fue por que llegó un dato nuevo se compara el dato recibido con uno preestablecido que indica que se debe de enviar el número total de datos de la DBO cuantificados hasta ese momento, se calcula este número y se transmite, después se espera a recibir otro dato preestablecido que indica el momento de empezar a transmitir los datos de las cuentas de la DBO acumulada por hora, se transmiten y se termina la interrupción y el programa continúa en la parte del proceso en que se quedó.

---

---

# TEMPERATURA

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## 5. TEMPERATURA

El diseño de esta etapa, está basado en el diagrama de bloques de la figura 5.1.

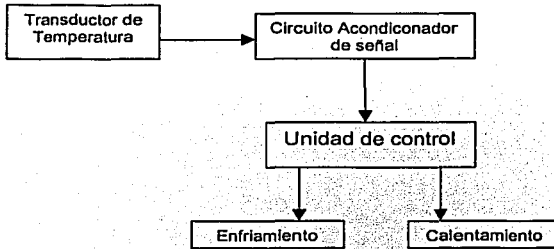


Fig 5.1 Diagrama de bloques

Necesitamos un transductor que sea capaz de registrar los cambios de temperatura que se producen en el medio que rodea a la muestra. La unidad de control tiene una resolución de  $0.1^{\circ}\text{C}$ , por lo cual, el transductor debe detectar cambios de ese valor o menores.

La unidad de control, como ya se especificó en el capítulo anterior, está basada en el microcontrolador MCHC11F1, que internamente posee un convertidor A/D de 8 bits. Los niveles de voltaje que permite son de 0 V a 5 V, con esta condición diseñamos una etapa que acondiciona la señal de temperatura a esos niveles de voltaje.

De acuerdo al valor de temperatura que programa el usuario, la unidad de control activa la unidad de enfriamiento cuando registra una temperatura mayor que la programada, y por el contrario si la unidad de control registra una temperatura menor que la programada, activa la unidad de calentamiento.

### 5.1 Transductores de temperatura

#### 5.1.1 Termistores

Los termistores son dispositivos cuya relación voltaje/corriente permanece constante cuando la temperatura es constante. Existen de dos tipos : con coeficiente térmico negativo (NTC), es decir, que su resistencia disminuye cuando la temperatura aumenta, los materiales con que se fabrican pueden ser mezclas sintetizadas de sulfatos, selenio, óxidos de níquel, manganeso, hierro, cobalto, cobre, magnesio, titanio, uranio, entre otros metales, y termistores con coeficiente térmico positivo (PTC) fabricados de bario sintetizado y mezclas de estroncio y titanio.

La ecuación que representa el cambio de resistencia de un termistor respecto a la temperatura está dada por:

$$R_T = R_o e^{b(1/T_1 - 1/T_o)} \quad \text{Ec (5.1)}$$

donde:

- $R_T$  = Resistencia del termistor.
- $R_o$  = Resistencia Inicial.
- $b$  = Coeficiente térmico.
- $T_1$  = Temperatura de trabajo en Kelvin.
- $T_o$  = Temperatura de referencia.

Los termistores tienen un rango limitado que va de  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $150^{\circ}\text{C}$ , y según la ecuación 5.1, su respuesta es no lineal por el término exponencial, además son dispositivos que presentan el fenómeno de envejecimiento. Las curvas de cambio de resistencia en función de la temperatura para termistores con NTC y PTC se muestran a continuación.

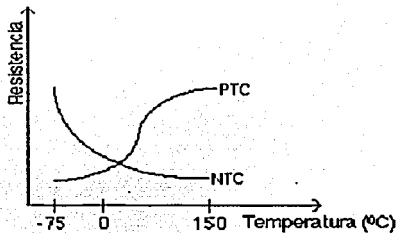


Fig 5.2 Respuesta de los termistores

A continuación se dan algunas de las características más importantes de los termistores:

- Alta sensibilidad.
- Alto coeficiente térmico.
- Envejecen.
- Tienen un tiempo de respuesta variable.
- Sufren de auto-calentamiento.
- En intervalos amplios presentan características no lineales.
- Son de tamaño reducido.
- Son susceptibles a contaminación.



5.1.2 Termopares

Los termopares son elementos de medición de temperatura activos, esto es, que generan una señal eléctrica proporcional a la temperatura a la que están sometidos. Los termopares se componen de dos conductores de diferente coeficiente térmico unidos en sus extremos, como se muestra en la figura 5.3.

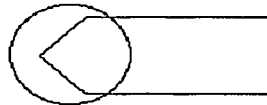


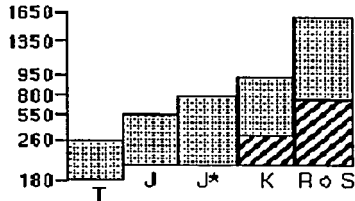
Fig 5.3 Símbolo del termopar

Los termopares se construyen de metales que presenten características de alta sensibilidad a la temperatura, lo que ha dado origen a diferentes aleaciones de materiales para lograr operaciones dentro de rangos de operación muy variados. La característica más importante de los termopares, es que son dispositivos que presentan gran linealidad dentro de su rango de operación y su costo es reducido, sin embargo, no están exentos de desventajas que limitan su uso. En primer lugar es necesario señalar que tienen una relación señal/ruido (SNR) muy baja, es decir, son muy susceptibles a sufrir alteraciones por ruido.

Esto es una consecuencia lógica, ya que al tratarse de dos conductores, cuando están instalados cerca de fuertes campos magnéticos tendrán voltajes inducidos cuando su longitud sea larga. En la figura 5.4(a) mostramos una tabla de los tipos de termopares, y en la figura 5.4(b) la gráfica del intervalo de temperatura que aceptan.

Tipo	Materiales
J	Hierro-Constantán (Galga 14).
T	Cobre-Constantán (Galga 20).
K	Cromel-Alumel (Galga 14).
R	Platino/Rodio(13%)-Platino.
S	Platino/Rodio(13%)-Platino.
J*	Hierro-Constantán (Galga 8).

(a)



(b)

Fig 5.4 Tipos de termopares



Es por ello que requieren de un acondicionador que incluya filtros que eliminen los voltajes inducidos de altas frecuencias. Otro de los efectos indeseables es el fenómeno llamado "efecto de punta fría", que se presenta cuando se tienen voltajes parásitos debido a la unión de las terminales del termopar con otros conductores a diferente temperatura que aquella en la unión de medición. La figura 5.5 muestra la respuesta de algunos tipos de termopares.

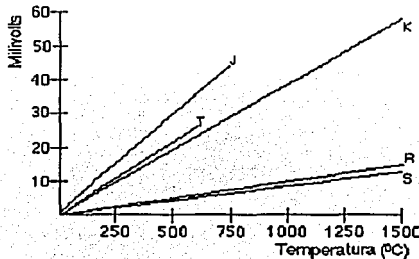


Fig 5.5 Respuesta de los termopares

### 5.1.3 Semiconductores

Son materiales sólidos o líquidos capaces de conducir la electricidad mejor que un aislante, pero peor que un metal. La conductividad eléctrica es una de sus propiedades físicas más importantes. A temperaturas muy bajas, los semiconductores puros se comportan como aislantes. Sometidos a altas temperaturas, mezclados con impurezas o en presencia de luz, la conductividad de los semiconductores puede aumentar de forma espectacular y llegar a alcanzar niveles cercanos a los de los metales.

En un semiconductor característico o puro como el silicio, los electrones de valencia (o electrones exteriores) de un átomo están emparejados y son compartidos por otros átomos para formar un enlace covalente que mantiene la estructura del cristal unido. Estos electrones de valencia no están libres para transportar corriente eléctrica. Para producir electrones de conducción, se utiliza la luz o la temperatura, que excita los electrones de valencia y provoca su liberación de los enlaces, de manera que pueden transmitir la corriente. Las deficiencias o huecos que quedan contribuyen al flujo de la electricidad (los huecos transportan carga positiva). Éste es el origen físico del incremento de la conductividad eléctrica de los semiconductores a causa de la temperatura.

Un método para obtener electrones para el transporte de electricidad consiste en añadir impurezas al semiconductor o doparlo. La diferencia del número de electrones de valencia entre el material dopante (tanto si acepta como si confiere electrones) y el material receptor hace que crezca el número de electrones de conducción negativos (tipo *n*) o positivos (tipo *p*).

5.2 Selección y diseño

Por las características de los dispositivos anteriores, facilidad de adquisición, economía y tamaño, empleamos el circuito integrado LM335Z para registrar la temperatura del Baño María, que es un transductor de temperatura de estado sólido. Este transductor posee internamente una red de linealización, así como una terminal de ajuste para proporcionar un voltaje de salida directamente proporcional a la temperatura registrada. Se usa en el caso de aplicaciones en las que se necesita medir temperaturas comprendidas entre  $-10$  y  $100$  °C. Su diseño es similar al de un diodo Zener de dos terminales. Este dispositivo puede funcionar por encima de un rango de corriente comprendido entre  $5$  y  $400\mu\text{A}$  con una sensibilidad de  $10$  mV/K. En la figura 5.6 se muestra la configuración básica de este circuito.

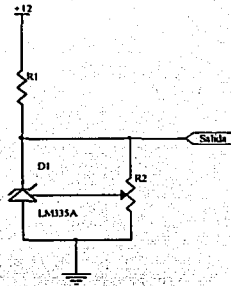


Fig 5.6 Circuito básico

Ahora debemos acoplar este transductor a la unidad de control, tomando en cuenta las siguientes consideraciones.

- Necesitamos medir temperaturas entre  $0^\circ$  y  $50^\circ$  C
- El circuito LM335Z trabaja en K.
- La unidad de control acepta un intervalo de voltaje de  $0$  a  $5$  Volts.
- La respuesta debe ser lineal, es decir, que cumpla con la ecuación

$$y = mx + b$$

Ec.(5.2)

Para ello, diseñamos un Circuito Acondicionador de Señal (CAS). Como primer paso, obtuvimos la ecuación del circuito considerando que nuestra respuesta fuera lineal, o sea que cumpliera con la ecuación 5.2, es decir, que cuando la temperatura medida por el transductor es de  $0$  °C, la salida del CAS será de  $0$  V; cuando el transductor mide  $10$  °C, la salida del CAS será de  $1$  V, análogamente hasta llegar a  $50$  °C, en cuyo caso la salida del CAS es de  $5$  V.

Para este diseño utilizamos la escala en grados Celsius, la relación que existe entre Kelvin y grados Celsius es la siguiente: una elevación de 1 grado en la escala de Kelvin es igual a una elevación de 1 grado en la escala de Celsius y el punto de congelación del agua es de 0 °C, equivalente a 273 K.

En la figura 5.7 se muestra la gráfica del voltaje de salida del LM335 en función de la temperatura. La pendiente de la recta equivale a la sensibilidad del dispositivo: 10 mV/K, por lo tanto, el voltaje de salida expresado en °K es el siguiente:

$$V_T = (10 \text{ mV/K}) (T_{\text{entrada K}}) \quad \text{Ec (5.3)}$$

en la cual T es la temperatura en K. A 273 K (0°C), el voltaje de salida del transductor es:

$$V_T = (10 \text{ mV/K}) (273\text{K}) = 2.73 \text{ V}$$

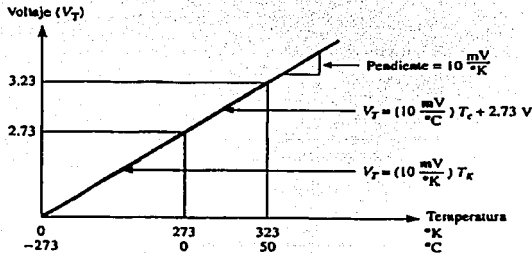


Fig 5.7 Gráfica del voltaje de salida del LM335

Ahora es posible expresar el voltaje de salida del transductor en grados Celsius como en la siguiente ecuación:

$$V_T = (10 \text{ mV/}^\circ\text{C}) (T_{\text{entrada } ^\circ\text{C}}) + 2.73 \text{ [V]} \quad \text{Ec (5.4)}$$

En donde T es la temperatura expresada en grados Celsius. A 0 °C  $V_T = 2.73 \text{ V}$  y a 50 °C  $V_T = 3.23 \text{ V}$ . Éste es el margen del voltaje de entrada correspondiente al CAS. El margen de salida del CAS viene a ser el margen de entrada del convertidor A/D. En la figura 5.8 se muestra el diagrama de bloques de este sistema de adquisición de datos para la medición de la temperatura.

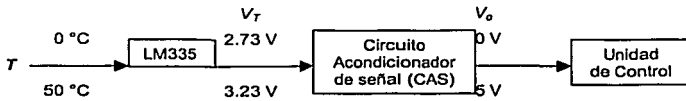


Fig 5.8 Diagrama de bloques

Con base en la información que disponemos sobre el transductor y el convertidor A/D de la unidad de control, hacemos la gráfica de las características de entrada/salida del CAS. En la figura 5.9 se muestra esta gráfica. Los valores de salida del CAS se grafican en el eje y. Hay que tener presente que estos valores corresponden al margen de voltaje del convertidor A/D de 0 a 5 V.

Los valores de entrada del CAS se grafican en el eje x. Estos valores son los del margen de voltaje del transductor -2.73 V a 3.23 V. La pendiente de la recta es:

$$m = \frac{\Delta V_o}{\Delta V_T} = \frac{(5 - 0)V}{(3.23 - 2.73)V} = 10$$

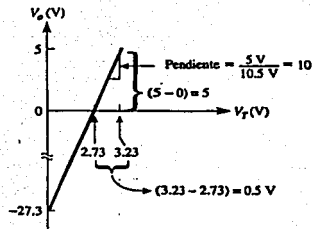


Fig 5.9 Características de entrada / salida del CAS

Este valor de 10 es la ganancia por la que hay que multiplicar  $V_T$ . La desviación de cd se encuentra con sólo elegir un punto de la línea y sustituirlo en la ecuación de una línea recta.

Si elegimos un par de coordenadas, por ejemplo (2.73, 0) y las sustituimos en la Ec 5.2 obtenemos:

$$0 = (10) (2.73) + b$$

Resolviendo la ecuación para b se obtiene:

$$b = -27.3 \text{ V}$$



Por lo tanto, la ecuación del voltaje de salida del CAS es:

$$V_o = 10 V_T - 27.3 \text{ [V]} \quad \text{Ec (5.5)}$$

Cabe señalar que si bien la desviación de cd es de  $-27.3 \text{ V}$ , el voltaje de salida,  $V_o$  nunca toma este valor puesto que el margen de  $V_T$ , está comprendido entre  $2.73 \text{ V}$  y  $3.23 \text{ V}$ . Este margen de  $V_T$  limita el valor de  $V_o$  de  $0 \text{ V}$  a  $5 \text{ V}$ .

Ahora, con la ecuación del CAS (Ec 5.5), expresada en la forma  $y = mx + b$ , diseñamos el circuito en el que la ganancia de 10 y la desviación de  $-27.3 \text{ V}$  se definan de manera independiente. Así, necesitamos un amplificador inversor con ganancia de  $-1$  seguido por un sumador inversor, como el que se muestra en la figura 5.10.

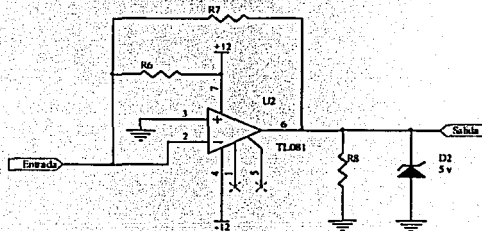


Fig 5.10 Amplificador inversor

La ecuación general del voltaje de salida del sumador es:

$$V_o = -\left(\frac{R_f}{R_1}\right)V_T - \left(\frac{R_f}{R_2}\right)E_{cd} \quad \text{Ec (5.6)}$$

Con base en la correspondencia de los coeficientes de  $V_T$  en la ecuación 5.5 y en la ecuación 5.6 obtenemos:

$$\frac{R_f}{R_1} = 10$$

Si elegimos  $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$  entonces  $R_f = 100 \text{ M}\Omega$ . Correlacionando los términos correspondientes a la desviación de cd de la ecuación 5.4 y los de la ecuación 5.5 obtenemos:

$$\frac{-R_f}{R_2} E_{cd} = -27.3V$$

Como  $E_{ca}$  está conectado a la fuente de + 12 V, y dado que la resistencia  $R_1 = 100 \text{ M}\Omega$ , entonces la resistencia  $R_2 = 43.95 \text{ k}\Omega$ .  $E_{ca}$  es un voltaje positivo y que  $V_T$  es un voltaje negativo que está a la entrada del sumador inversor. Dado que el LM335 genera un voltaje positivo  $V_T$ , el amplificador inversor con ganancia de -1 se utiliza para generar  $-V_T$ , como se muestra en el circuito ya completo de la figura 5.11.

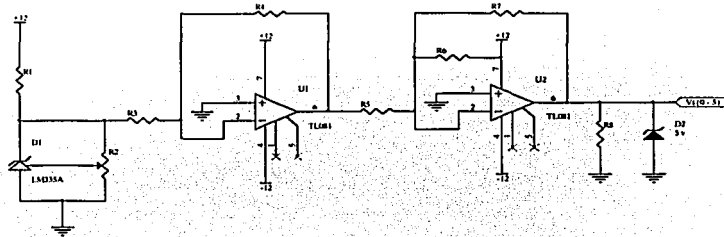


Fig 5.11 Circuito propuesto

Si la temperatura en el Baño María se incrementara mas de 50 °C, el CAS tomaría el incremento de temperatura proporcional devolviendo un voltaje mayor a 5 volts, este voltaje podría dañar el convertidor analógico digital del microcontrolador, por lo cual, como protección de nivel de voltaje, conectamos un diodo zener de 5 V @ 1 W en paralelo con la salida, de este modo aseguramos que el máximo valor de voltaje de salida sean los 5 V.

A continuación en la figura 5.12 se muestra el circuito impreso del CAS.

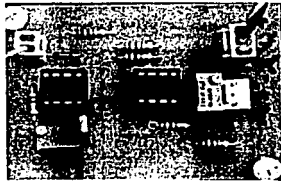


Fig 5.12 Circuito impreso del CAS

### 5.3 Calentamiento

De acuerdo a la temperatura programada por el usuario, la unidad de control activa una unidad de calefacción si la temperatura es menor que la programada. Para ello, utiliza un calefactor eléctrico resistivo con las siguientes características:

- Filamento de Níquel Cromo 80/20, alemán
- Relleno de óxido de magnesio
- Tubo exterior de 5/16 de acero inoxidable tipo 304
- Aislantes de porcelana
- Terminales de soporte de 3/16 de latón
- Voltaje de 120 V<sub>AC</sub> y 600 W

Físicamente se diseñó este dispositivo de tal manera, que fuera uniforme el calentamiento del Baño María abarcando la mayor área posible. En la figura 5.13 se muestra una foto del dispositivo.



Fig 5.13 Calefactor eléctrico resistivo

La unidad de control no puede manejar directamente al calefactor resistivo, por lo que tuvimos que utilizar una etapa de potencia. Así, proponemos el circuito de la figura 5.14

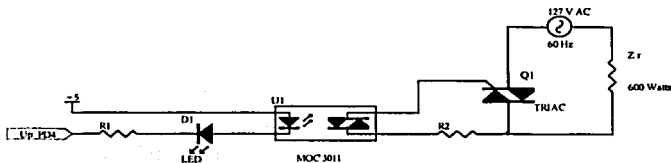


Fig 5.14 Etapa de potencia del calefactor

Utilizamos el circuito integrado MOC3011 de motorola. Este es un optoacoplador utilizado para manejar el disparo de algunos tiristores (triacs o SCRs), y así aislar dos etapas. En el pin 1 y 2 se encuentran las terminales de un LED, ánodo y cátodo respectivamente, que al ser polarizado activa al diac que está entre los pines 4 y 6 como se muestra en la figura 5.14. Cuando esto sucede, el diac suministra la corriente suficiente de disparo al triac y se cierra el circuito de corriente alterna, entre las terminales mt<sub>1</sub> y mt<sub>2</sub> del triac y la carga resistiva, que en este caso es el calefactor eléctrico resistivo.

Para activar al diac, debemos hacer circular por el LED dentro del circuito MOC3011, una corriente de 10 mA aproximadamente. El encendido de este LED lo manejamos con el pin 4 del puerto C del microcontrolador. Este puerto se encuentra permanentemente conectado a una resistencia de pull-up, por lo cual siempre tiene un nivel alto de voltaje (5 V) y de acuerdo al circuito mostrado en la figura 5.14, no circula corriente por el LED. Cuando el microcontrolador activa el pin 4, este se pone en nivel bajo de voltaje y hace circular la corriente necesaria para encender el LED y entonces activar al diac.

En la figura 5.15 se muestra el circuito impreso de la etapa de potencia del calefactor.

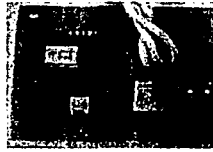


Fig 5.15 Circuito impreso de la etapa de potencia del calefactor

#### 5.4 Enfriamiento

En este caso, si la temperatura excede al valor programado, el microcontrolador activa el sistema de refrigeración. Utilizamos un sistema de refrigeración (figura 5.16) con las siguientes características:

- Entrega máxima de recirculación de agua aproximadamente de 30 l/min
- Conectores para mangueras de 6 mm de diámetro
- Intervalo de temperatura entregada de 10 - 32 °C
- Alimentación 120 Vac y 3.5 A

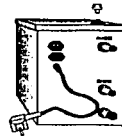


Fig. 5.16 Recirculador



De igual modo, acoplamos este sistema de refrigeración con el microcontrolador. En este caso utilizamos el circuito de la figura 5.17 :

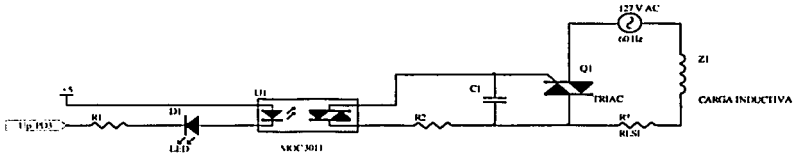


Fig 5.17 Etapa de potencia del sistema de refrigeración

El funcionamiento es análogo al que utilizamos en la etapa de calentamiento. Utilizamos nuevamente el circuito MOC3011, en este caso conectado al pin 3 del puerto C del microcontrolador. En la figura 5.18 se muestra el circuito impreso diseñado.



Fig 5.18 Circuito impreso de la etapa de potencia del sistema de refrigeración

---

---

# AGITACIÓN

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## 6. AGITACIÓN

Con el fin de asegurar un intercambio de gases efectivo, introducimos un agitador magnético que provee de agitación vigorosa a la muestra. Para darle movimiento a este agitador, utilizamos un motor de corriente directa (CD), como se muestra en la figura 6.1.



Fig 6.1 Motor de CD

### 6.1 Motores de corriente directa

Los motores eléctricos son máquinas utilizadas en transformar energía eléctrica en mecánica y el trabajo mecánico que proporciona suele ser el movimiento rotatorio de un árbol o eje.

Dos principios físicos relacionados entre sí sirven de base al funcionamiento de los de los motores. El primero es el principio de la inducción descubierto por el científico e inventor británico Michael Faraday en 1831. Si un conductor se mueve a través de un campo magnético, o si está situado en las proximidades de un circuito de conducción fijo cuya intensidad puede variar, se establece o se induce una corriente en el conductor. El principio opuesto a éste fue observado en 1820 por el físico francés André Marie Ampère. Si una corriente pasaba a través de un conductor dentro de un campo magnético, éste ejercía una fuerza mecánica sobre el conductor.

Para funcionar, el motor de corriente continua o directa precisa de dos circuitos eléctricos distintos: el circuito de campo magnético y el circuito de la armadura (figura 6.2).

El campo (básicamente un imán o un electroimán) permite la transformación de energía eléctrica recibida por la armadura en energía mecánica entregada a través del eje. La energía eléctrica que recibe el campo se consume totalmente en la resistencia externa con la cual se regula la corriente del campo magnético.

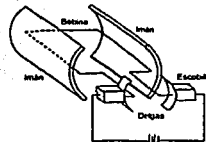


Fig 6.2 Elementos básicos de un motor de CD

El campo magnético actúa como una especie de catalizador que permite la transformación de energía en la armadura. La armadura consiste en un grupo de embobinados alojados en el rotor y en un dispositivo denominado colector, mediante el cual se recibe corriente continua desde una fuente exterior y se convierte la correspondiente energía eléctrica en energía mecánica que se entrega a través del eje del motor. En la transformación se pierde un pequeño porcentaje de energía en los carbones del colector, en el cobre de los embobinados, en el hierro (por corrientes parásitas e histéresis), en los rodamientos del eje y la fricción del rotor por el aire.

La velocidad a la que funciona un motor depende de la intensidad del campo magnético que actúa sobre la armadura, así como de la corriente de ésta. Cuanto más fuerte es el campo, más bajo es el grado de rotación necesario para generar un voltaje inducido lo bastante grande como para contrarrestar el voltaje aplicado. Por esta razón, la velocidad de los motores de corriente continua puede controlarse mediante la variación de la corriente del campo.

## 6.2 Diseño

La velocidad del motor esta controlada por la señal de PWM, que es generada por el microcontrolador a una frecuencia de 61.728 Hz. Éste genera dos señales de distinto ciclo de trabajo, una para agitación de líquidos (19.11 %) y otra de mayor ciclo de trabajo para todos (19.75 %). Estas señales de modulación provocan una velocidad en el motor que garantiza un intercambio de gases efectivo en la muestra.

Para acoplar al motor con el agitador magnético utilizamos una barra de aluminio con dos imanes montados sobre ella, acomodados de tal forma que, el norte magnético del agitador coincida con el sur magnético de uno de los imanes y el sur magnético del agitador, con el norte magnético del otro imán. Los imanes están separados de modo que su centro esté colocado en los extremos del vaso de reacción, quedando solo un polo de cada imán dentro del borde del vaso, esto ocasiona que al girar el motor, el agitador magnético siga el giro de los imanes, según se muestra en la figura 6.3.

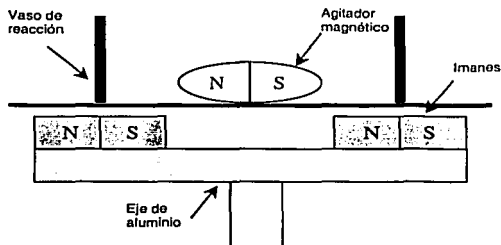


Fig 6.3 Movimiento del agitador magnético ocasionado por el movimiento de los imanes

### 6.2.1 Fuente de alimentación del motor

El motor que utilizamos requiere una polarización de 12 Volts y como sabemos, el microcontrolador maneja niveles de voltaje de 0 V y 5 V, por esto tuvimos que implementar un circuito de acoplamiento entre el motor y el microcontrolador. En la figura 6.4 se muestra el diagrama utilizado.

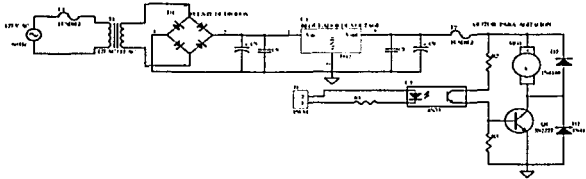


Fig 6.4 Circuito electrónico de alimentación y acoplamiento del motor

El diagrama electrónico consta de dos partes principales, una fuente de alimentación regulada de 12 Volts independiente de la fuente general, esto con el fin de evitar que el ruido que genera el motor interfiera con las señales utilizadas en los demás circuitos. Está fuente sirve para polarizar al motor.

Utilizamos el circuito 4N33, que es un optoacoplador con fototransistor. El led interno que activa al fototransistor, es controlado por la señal de PWM.

En la figura 6.5 se muestra el circuito impreso de esta etapa.

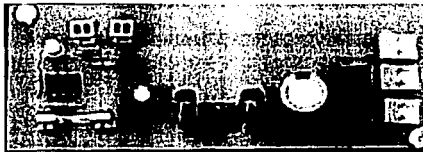


Fig 6.5 Circuito impreso de la fuente de alimentación y acoplamiento del motor

### 6.2.2 Soporte del motor

Con el fin de poder montar el motor, diseñamos un soporte de aluminio como se muestra en la figura 6.5, este nos permite ajustar la altura del motor con respecto a la base donde descansa el vaso de reacción, con lo que podemos variar la atracción magnética de los imanes al agitador magnético, según sea el caso.

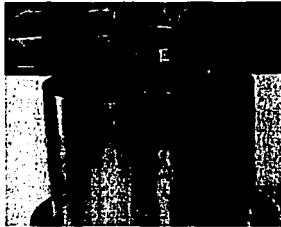


Fig 6.5 Soporte del motor y eje de aluminio con los imanes

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

---

---

FUENTE DE ALIMENTACIÓN

---

---

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

71

## 7. FUENTE DE ALIMENTACIÓN

Los circuitos explicados en los capítulos anteriores requieren para su correcto funcionamiento estar polarizados adecuadamente, para ello diseñamos una fuente de alimentación de corriente directa con los niveles de voltaje que cada circuito requiera. Los voltajes que se obtienen de la fuente son: 5V, 12V, -12V.

### 7.1 Diseño

Para diseñar la fuente de corriente directa a partir de la alimentación de la línea de 120 Vac, tomamos en cuenta las siguientes etapas:

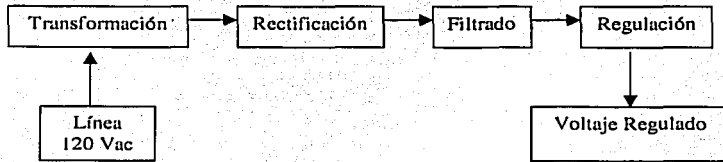


Fig 7.1 Diagrama de bloques

#### 7.1.1 Transformación

La línea de alimentación es de corriente alterna de 120 Vac a 60 Hz. La etapa de transformación se encarga de modificar la amplitud del voltaje de entrada de la línea. Como necesitamos un valor menor que el de la línea, utilizamos un transformador, configurado como reductor. El transformador está formado por dos bobinas colocadas de modo que el flujo cambiante que desarrolla una enlace a la otra, como se muestra en la figura 7.1.

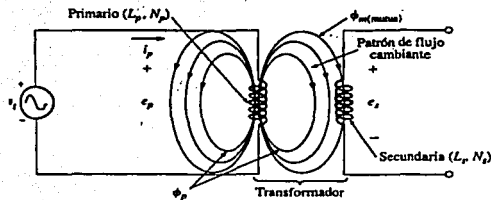


Fig 7.1 Principio de funcionamiento



Esto produce un voltaje inducido a través de cada bobina. Por convención, a la bobina a la que se le aplica la fuente de alimentación de la línea se le denomina el primario y la bobina a la que se aplica la carga se conoce como el secundario. El transformador funciona bajo el principio de inductancia mutua, donde dicha inductancia es proporcional al cambio instantáneo en el flujo magnético que enlaza a una bobina, producido por un cambio instantáneo en la corriente a través de la otra bobina.

$$M = k\sqrt{L_P L_S} \quad \text{Ec (7.1)}$$

donde:

k es el coeficiente de acoplamiento entre las bobinas

$L_P$  y  $L_S$  son las inductancias del primario y secundario respectivamente

Utilizamos un transformador con núcleo de hierro, esto sirve para incrementar el coeficiente de acoplamiento.

Como necesitamos 12 V y -12 V de salida en la fuente de alimentación, seleccionamos un transformador de 120/24Vac @ 2A con derivación central.

### 7.1.2 Rectificación y Filtrado

La etapa de rectificación es la encargada de transformar una señal sinusoidal en una señal de DC de voltaje pulsante, como se muestra en la figura 7.2 (a). Utilizamos un puente de diodos @ 4 [A] para obtener una rectificación de onda completa. Este voltaje aún no es adecuado para polarizar a nuestros circuitos, es necesario implementar una etapa de filtrado para proporcionar un voltaje de DC mas estable.

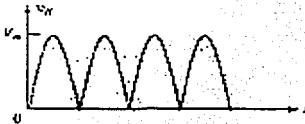


Fig. 7.2 (a) Voltaje pulsante

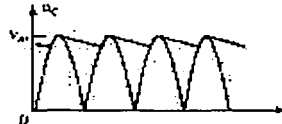


Fig 7.2 (b) Señal filtrada

La etapa de filtrado se encarga de estabilizar el voltaje reduciendo el voltaje de rizo. Una señal rectificadada de onda completa después de ser filtrada, tiene menos rizo que una señal rectificadada de media onda.

Se conecta un capacitor en paralelo a la salida rectificadora y se obtiene un voltaje de DC. En la figura Fig. 7.2 (b) vemos la forma de onda resultante después de conectarse el capacitor de filtro a la salida del rectificador.

Se puede ver que la forma de onda filtrada es en esencia un voltaje de DC con algo de rizo. Podemos decir que entre mayor sea el valor del capacitor, menor será el voltaje de rizo.

### 7.1.3 Regulación

Para estabilizar aún más el voltaje y eliminar cualquier variación de AC que pudiera tener la señal filtrada, agregamos una etapa de regulación. Para ello utilizamos circuitos integrados para regular los voltajes de alimentación de nuestros circuitos. Estos ofrecen regulación para un voltaje positivo fijo, un voltaje negativo fijo o un voltaje ajustable.

Para nuestro diseño utilizamos 2 reguladores de voltaje fijo positivo de la serie 78XX, estos son el 7812 que mantiene un voltaje de regulación de 12 V y el 7805 que regula a 5 V.

Son circuitos integrados de tres terminales, una se conecta al voltaje de entrada, otra corresponde al voltaje de salida regulado y existe una tercera que se conecta a un nivel de referencia, que en este caso son 0 Volts (tierra). Para el regulador de 5V, la entrada es la salida del regulador de 12 V.

Para los 12 V negativos usamos un circuito de la serie 79XX, que es el 7912. Este es un regulador de voltaje negativo fijo de tres terminales.

Estos circuitos, tanto positivos como los negativos, proporcionan una salida regulada con una eficiencia de operación óptima, siempre y cuando para los reguladores positivos el voltaje de entrada sea más positivo por 2.6 Volts y para los reguladores negativos, el voltaje de entrada sea más negativo por 2.6 Volts.

Así, el circuito propuesto se muestra en la figura 7.3

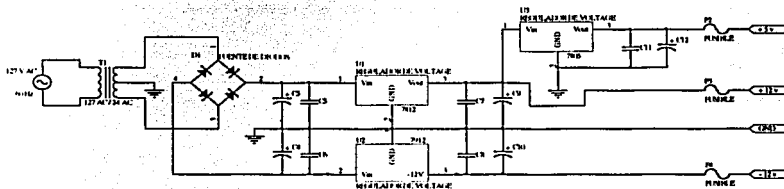


Fig 7.3 Fuente de alimentación regulada

La figura 7.4 muestra el circuito impreso de la fuente de alimentación.

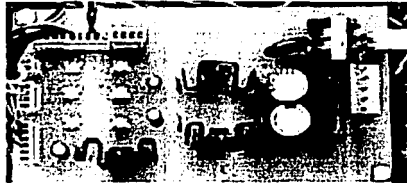


Fig 7.4 Circuito impreso de la fuente de alimentación regulada

---

---

# CONTENEDOR

## 8. CONTENEDOR

La función principal del contenedor es crear un ambiente adecuado para el desarrollo de las pruebas de determinación de la demanda bioquímica de oxígeno.

El contenedor permite soportar el sistema mecánico (este proporciona la agitación de la muestra a examinar), el sistema electrónico (circuitos electrónicos, panel de control) y el sistema para el control de la temperatura (calefactor eléctrico resistivo, la conexión al sistema de refrigeración y la funda de aluminio para el transductor de temperatura).

Con esto tenemos un equipo unificado a diferencia de los desarrollados por VOIT-SAPROMAT, que cuentan con unidades independientes que los hacen más voluminosos y caros.

Para mantener las muestras a una temperatura estable diseñamos un recipiente el cual permitiera tener un Baño María, con un volumen de 9.8 litros suficientes para tener los biorreactores sumergidos en el baño a una temperatura más homogénea.

El contenedor esta construido de una lámina de acero inoxidable de 1/8" de espesor, esto es necesario ya que en los laboratorios químicos se trabaja con sustancias que pueden oxidar y deteriorar el equipo. Para que éste pueda mantener una temperatura en el interior lo hicimos con paredes dobles y en medio de estas colocamos un aislante térmico de poliestireno expandido de 1" de espesor, este soporta temperaturas de hasta 90° Celsius, el aislante térmico es de la marca Foamular fabricado por Owens Corning.

Realizamos las perforaciones necesarias para colocar los conectores para la toma corriente, conector de comunicación con la PC, porta fusibles, interruptor de alimentación general, pantalla de despliegue y teclado.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 8.1 Proceso de ensamblado

La primera parte de este proceso fue montar en la tina para el baño de agua el calefactor, la funda del sensor de temperatura que es de aluminio (ya que este material tiene una buena conducción térmica que nos permita sentir la temperatura de manera más exacta) y colocar las conexiones para el sistema de refrigeración. Para esto fue necesario sellar las conexiones con rondanas de teflón, y así prevenir fugas de agua en la tina.

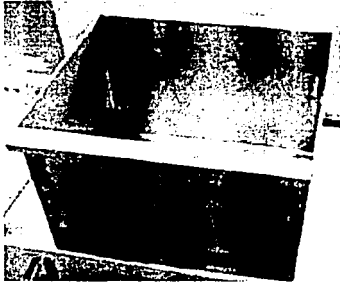


Fig 8.1 Tina para el baño de agua

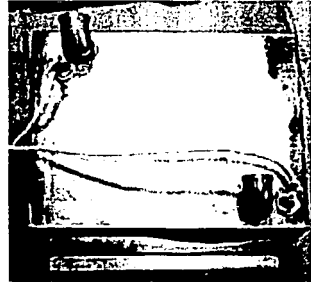


Fig 8.2 Conexiones para el sistema de refrigeración y del calefactor

Fig 8.3 Funda de aluminio para el transductor de temperatura y rondanas de teflón

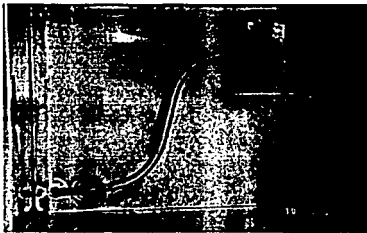
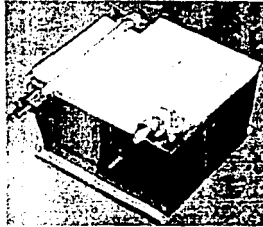


Fig 8.4 Interior de la tina para el baño de agua, calefactor eléctrico resistivo y funda

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Una vez ensamblada la tina, la montamos en la estructura principal del contenedor junto con el aislante térmico y la fijamos a la estructura con remaches.

Fig 8.5 Aislante térmico en la base de la tina



Después la fijamos a la estructura por medio de remaches.

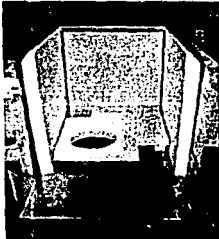


Fig 8.6 Aislante térmico en las paredes del contenedor

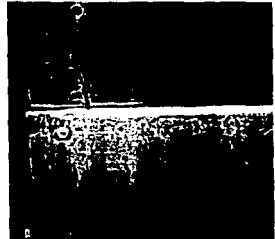


Fig 8.7 estructura principal ensamblada con remaches

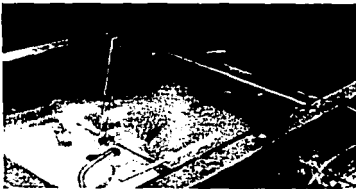


Fig 8.8 Tina ensamblada con remaches

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

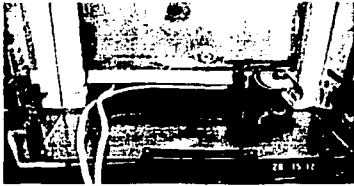


Fig 8.9 Aislante térmico entre las paredes del contenedor

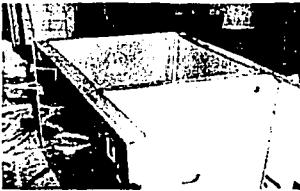


Fig 8.10 Aislante térmico en las paredes del contenedor

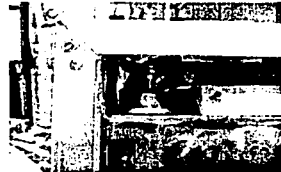


Fig 8.11 conexión de tubería para el sistema de refrigeración

Una vez instalada la tina, ensamblamos el compartimento que aloja, tanto a los circuitos electrónicos como el teclado y la pantalla de despliegue.

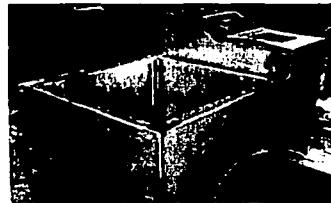
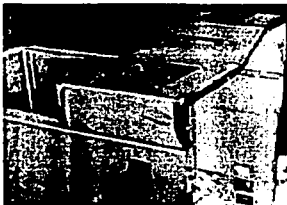


Fig 8.14 compartimento para la electrónica



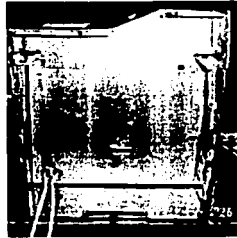


Fig 8.15 Conexiones para el sistema de refrigeración y cable del calefactor

Colocamos la tapa de la tina y para evitar transferencias de temperatura, utilizamos un sello de neopreno entre esta y la tina.

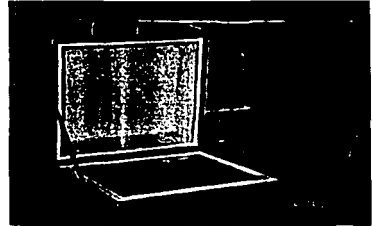
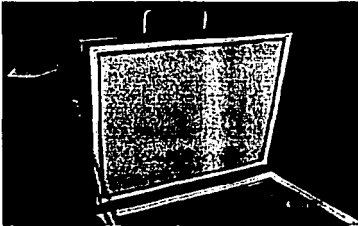


Fig 8.16 Sello de neopreno

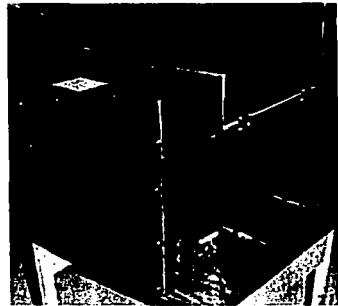
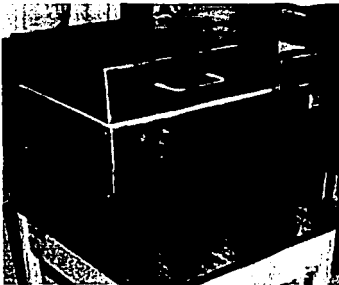


Fig 8.17 Tapa del contenedor



### 8.2 Rejilla para el montaje de las unidades

Para mantener los biorreactores fijos en el Baño María, diseñamos una estructura metálica de acero inoxidable. Para sujetar el matraz de reacción utilizamos un aro de acrílico con tres prisioneros de latón, como se puede observar en la figura 8.18.

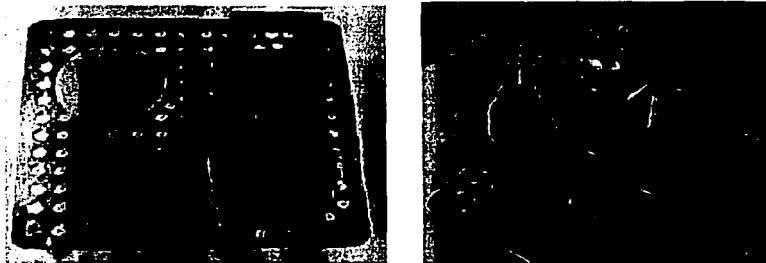


Fig 8.18 Rejilla de acero inoxidable

### 8.3 Montaje de los circuitos electrónicos

Instalamos los circuitos electrónicos (tarjeta del microcontrolador, fuentes de alimentación, circuitos del teclado, fuente de corriente, circuito para la detección del cambio de presión, temporizador, circuito acondicionador de señal, circuitos de acoplamiento para las etapas de potencia) en el compartimento, montándolos en un panel de estireno expandido de la marca Cintra, también colocamos el transductor de temperatura en la funda de aluminio (figura 8.19), los conectores de toma corriente, el conector para la comunicación con la PC, el interruptor general y los portafusibles.

Fig 8.19 Electrónica,  
fuentes de alimentación



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

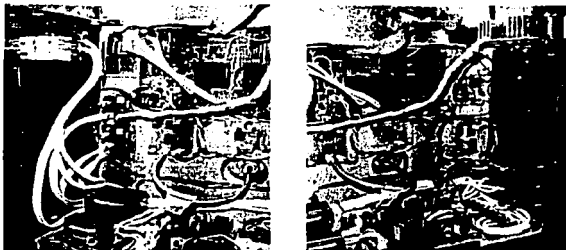


Fig 8.20 Conexiones de los circuitos impresos

En la parte superior del compartimento, colocamos la pantalla de cristal liquido y el teclado.

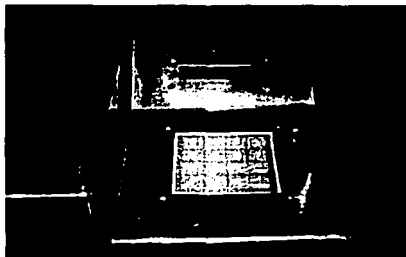


Fig 8.21 Teclado y pantalla de cristal liquido

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

---

---

OBTENCIÓN DE LAS CURVAS DE LA  
DBO

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## 9. OBTENCION DE LAS CURVAS DE DBO

Para la obtención de las curvas de DBO es necesario establecer una comunicación entre la unidad de control y una computadora personal PC. Esto es con el fin de mostrar los datos de consumo de miligramos de oxígeno por litro durante el tiempo (en horas) que duró el proceso y relacionarlos mediante una gráfica.

### 9.1 Diseño

Utilizamos el circuito integrado MAX232 que está acoplado al puerto C del microcontrolador de la unidad de control. El circuito integrado MAX232 cambia los niveles TTL a los del estándar RS-232 cuando se hace una transmisión y cambia los niveles RS-232 a TTL cuando se tiene una recepción. La configuración típica se muestra en la figura 9.1.

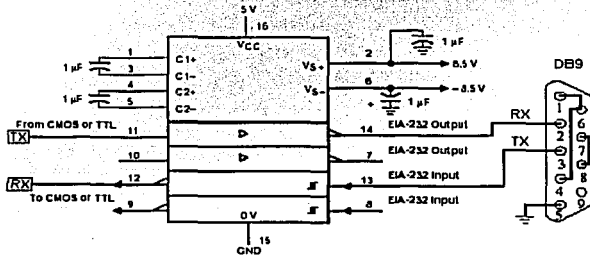


Fig 9.1 Circuito básico con el MAX232

Desarrollamos un software capaz de recuperar los datos almacenados en el microcontrolador, mostrarlos en forma de lista y graficarlos. Para ello utilizamos *Visual Basic 6.0 edición profesional*. *Visual Basic* es un lenguaje de programación visual, también llamado lenguaje de 4ª generación. Esto quiere decir que un gran número de tareas se realizan sin escribir código, simplemente con operaciones gráficas realizadas con el ratón sobre la pantalla. Su programación está basada en objetos, aunque no está orientada a objetos.

*Visual Basic* está orientado a la realización de programas para Windows, pudiendo incorporar todos los elementos de este entorno informático como : ventanas, botones, cajas de diálogo y de texto, botones de opción y de selección, barras de desplazamiento, gráficos, menús, etc.

9.2 Descripción del software.

El software que desarrollamos incluye las siguientes opciones : abrir un archivo, guardar un archivo, imprimir la gráfica mostrada y recuperar los datos del microcontrolador a través del puerto serial de la Pc. La opción mas importante, es la recuperación de datos del microcontrolador.

Ésta opción la programamos según el diagrama de flujo mostrado en la figura 9.2.

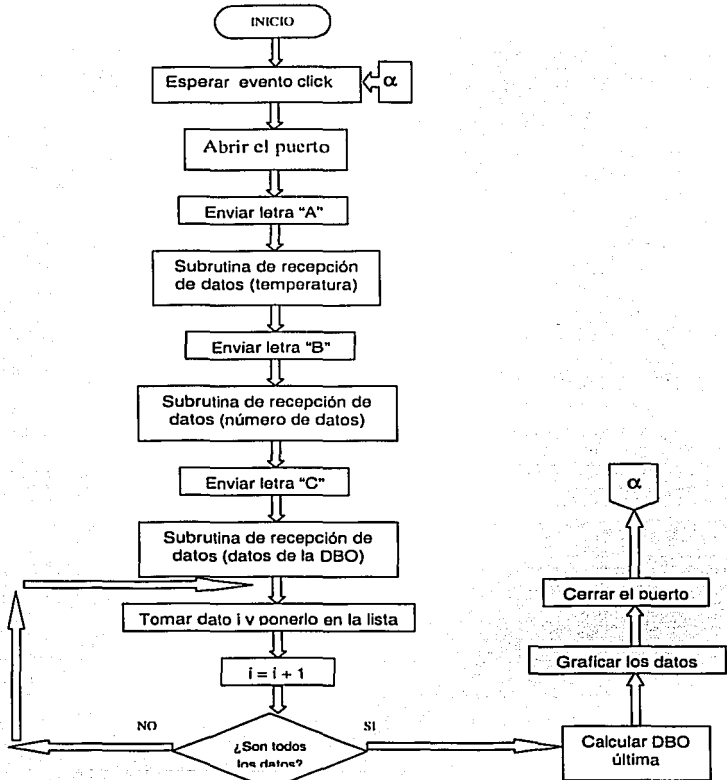


Fig 9.2 Diagrama de flujo



El diagrama de flujo anterior está programado de la siguiente manera:

Una vez que se ejecuta el programa, aparece la pantalla mostrada en la figura 9.4, el programa entonces espera a que el usuario ejecute una acción. La acción de recuperar datos se ejecuta haciendo click con el botón izquierdo del mouse en el icono mostrado en la figura 9.3



Fig 9.3 Icono para recuperar datos desde el Siddeblox

Una vez que se ha presionado el icono, el programa establece la comunicación entre el puerto serial y el microcontrolador y envía la letra "A", entonces el programa entra en la subrutina de espera para recibir datos, en este primer caso espera el dato de temperatura a la que se está realizando la prueba y lo muestra en la pantalla. Luego el programa envía la letra "B" y espera a que reciba el número de datos que va a enviar el microcontrolador. Este número de datos, es la cantidad de horas en que se ha estado haciendo la determinación de la DBO y le sirve al programa para saber cuantos datos debe recibir. En seguida envía la letra "C" y el microcontrolador comienza a enviar los datos de la DBO y asocia cada dato con la hora en la que fue determinada por el equipo mostrándolo en una lista en la pantalla. Cuando todos los datos han sido enviados, calcula el valor de la DBO última mostrándolo en la pantalla, hace una gráfica de estos datos (DBO en mg/l contra tiempo en horas) cierra el puerto y queda nuevamente en espera de que el usuario realice otra acción.

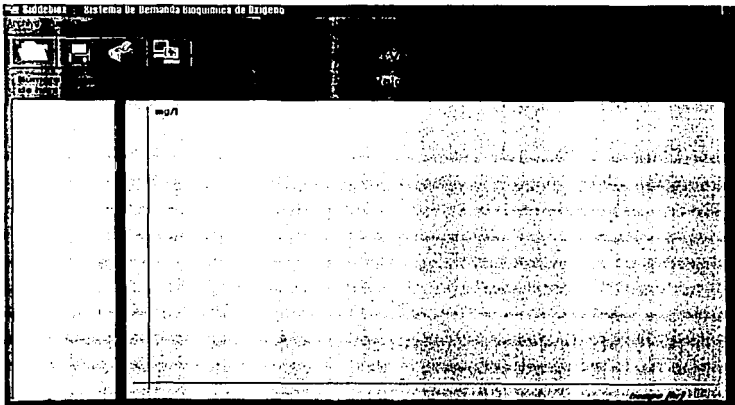


Fig 9.4 Pantalla del programa

En la figura 9.5 se muestra el diagrama de flujo de la subrutina de recepción de datos.

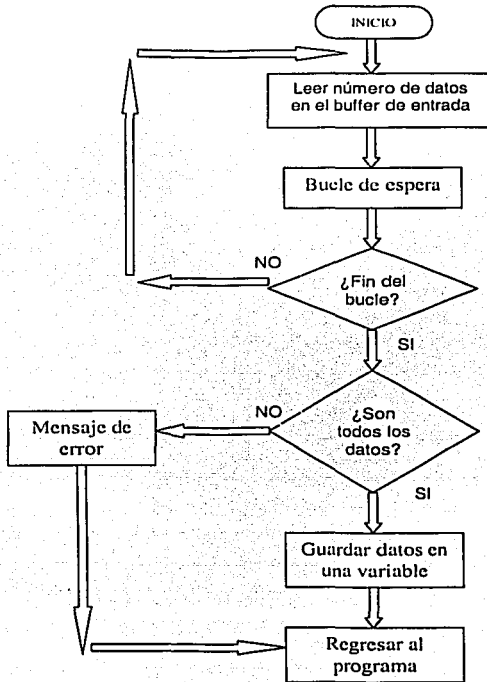


Fig 9.5 Pantalla del programa

Esta subrutina de recepción espera recibir un número de datos que el programa principal le asigna según sea el caso, entonces lee en el buffer ese número de datos y entra en un bucle de espera, si cuando termina ese bucle no se han recibido todos los datos, manda un mensaje de error en la comunicación. Si por el contrario, todos los datos fueron recibidos, los guarda en una variable y regresa al programa principal.



---

---

## PRUEBAS Y RESULTADOS

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

10. PRUEBAS Y RESULTADOS

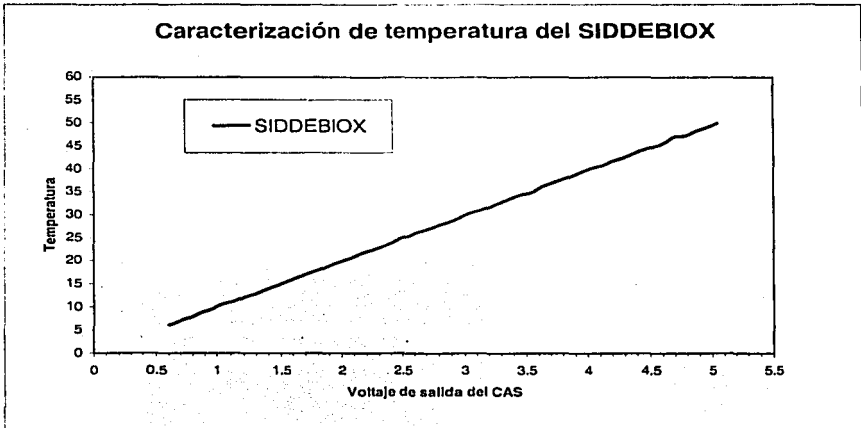
10.1 Caracterización de temperatura del SIDDEBIOX

La caracterización se llevó a cabo midiendo el voltaje de salida del CAS y comparándolo con la lectura que nos proporciona la pantalla de cristal líquido del SIDDEBIOX.

La relación que sigue el CAS es la siguiente : Para una salida de 0.0 V representa 0 °C y para una salida de 5.0 V representa 50 °C.

Colocamos en el contenedor agua a 2.5 °C y programamos al SIDDEBIOX a una temperatura de 50 °C, durante el precalentamiento tomamos las lecturas con cada grado de incremento.

En gráfica 10.1 se muestran los resultados.



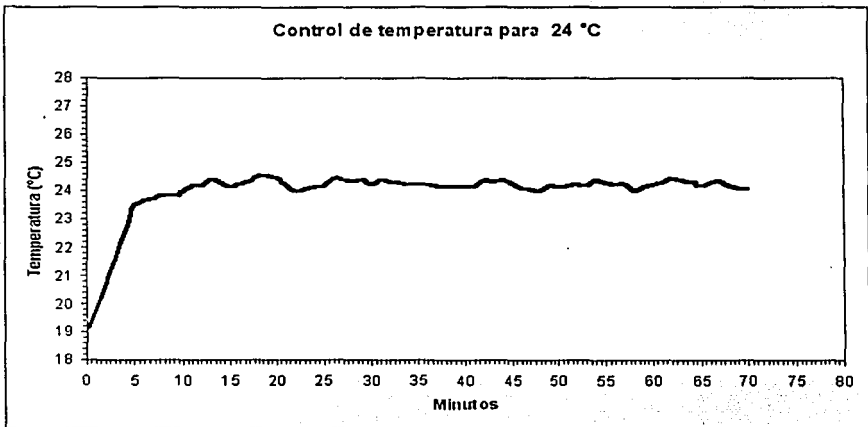
Gráfica 10.1

90  
 TESIS CON FALLA DE ORIGEN

### 10.2 Control de temperatura

El objetivo de esta prueba es conocer la respuesta del control de temperatura, para ello utilizamos el sistema de refrigeración y el calefactor eléctrico resistivo. El Baño María estaba a una temperatura inicial de 20.2 °C. Programamos el equipo a una temperatura de 24 °C y observamos cada minuto las lecturas mostradas en la pantalla de despliegue del Siddebiox durante 1 hora y 10 minutos.

Los resultados se muestran en la gráfica 10.2.



Gráfica 10.2

### 10.3 Calibración del sistema

Para la calibración de este sistema utilizamos el procedimiento explicado en el apéndice D.

La prueba la realizamos con 368.8 mg de sulfito de sodio ( $\text{NaSO}_3$ ), con lo que se esperaba un consumo de 187.24 mg/l  $\pm$  4 % de oxígeno en aproximadamente 11.23 horas.

La lectura determinada por el equipo fue de 166 mg/l en 11 horas, es decir un 11.34 % de error. Este error se debe a las fugas presentes en el sistema.

91

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

---

---

## CONCLUSIONES

## CONCLUSIONES

Logramos implementar un prototipo que cumple con las metas propuestas, es decir, el sistema es capaz de determinar la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) utilizando el método respirométrico. Además podemos concluir que es de fácil operación para el usuario y de bajo costo en comparación con los equipos que se encuentran actualmente en el mercado.

Utilizando electrónica sencilla, logramos desarrollar las etapas de temperatura, agitación y determinación de la DBO.

De acuerdo a la caracterización de temperatura del Siddebiox, podemos mencionar que existe una respuesta lineal del CAS, como se puede observar en la gráfica 10.1.

En la gráfica 10.2 del control de temperatura, observamos que el SIDDEBIOX alcanzó la temperatura de 24 °C en aproximadamente 5 minutos, podemos apreciar que en los primeros 30 minutos de operación, las variaciones de temperatura están entre 23.6 °C y 24.8 °C, después de este tiempo, la temperatura se mantuvo entre 23.8 °C y 24.4 °C, esto se debe tanto al control on/off con histéresis que programamos para  $\pm 0.4$  °C, como a la inercia térmica.

Debido al aislante térmico en el contenedor del Siddebiox, la temperatura del Baño María no se ve afectada por los cambios del medio ambiente.

Recomendamos verificar que no haya fugas en el sistema de conexión de los biorreactores, ya que esto afecta directamente el consumo de oxígeno en el proceso de determinación.

Para un mejor desempeño del SIDDEBIOX, sugerimos desarrollar un control proporcional de temperatura y utilizar para la agitación un motor de uso continuo.

Este sistema se desarrolló para una muestra, sin embargo se puede aumentar el número de muestras modificando la unidad de control y agregando para cada muestra, la fuente de corriente, el temporizador y el circuito de detección de cambio de presión. Además diseñar un contenedor que sea capaz de almacenar el número de muestras que se deseen analizar, así como el sistema mecánico de agitación.

---

---

## BIBLIOGRAFÍA

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## BIBLIOGRAFÍA

- J. Glynn Henry y Gary W. Heinke. *Ingeniería Ambiental*. Ed. Prentice hall. Segunda edición
- Tebbutt. *Fundamentos de control de la calidad del agua*.
- Makenzie L. Davis, David A. Cornwell. *Introduction to environmental engineering*. McGraw Hill. Segunda edición
- Charles W. Keenan y Jesé H. Wood. *Química General Universitaria*. Compañía editorial continental, México.
- Dr. Calderón Laboratorios Ltda. Colombia - South America  
[http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis\\_De\\_Aguas/Determinacion\\_DBO5\\_Metodo\\_Respirometrico.htm](http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_De_Aguas/Determinacion_DBO5_Metodo_Respirometrico.htm)
- Contaminación por materia orgánica y microorganismos.  
[http://www.sagan-gea.org/hojared\\_AGUA/paginas/16agua.html](http://www.sagan-gea.org/hojared_AGUA/paginas/16agua.html)
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)  
<http://seagrant.uprm.edu/seagrant/MQP/water-quality/eutrofication.htm>
- Demanda bioquímica de oxígeno (biochemical oxygen demand)  
[http://www.laneta.apc.org/emis/docs/qtos\\_d-h.htm](http://www.laneta.apc.org/emis/docs/qtos_d-h.htm)
- Contaminantes Químicos  
<http://www.queque.net/~qerca/contamin.htm>
- Metodos coulumbimetricos y electrogravimetricos  
<http://www.prof.uniandes.edu.co/~infquimi/ANALISIS/electrogravimetria/electro.htm>
- Demanda biológica de oxígeno (DBO).  
[http://editorial.cda.ulpqc.es/servicios/1\\_saneamiento/110/1102.htm](http://editorial.cda.ulpqc.es/servicios/1_saneamiento/110/1102.htm)
- Sapromat  
[http://www.hp-lab.de/englisch/sapromat/sapro\\_02.html](http://www.hp-lab.de/englisch/sapromat/sapro_02.html)  
<http://www.hp-lab.de/englisch/sapromat/Sapromat-Bod.jpg>
- Programa de Ingeniería de Química Ambiental y Química ambiental (PIQAYQA)  
<http://www.lquim.unam.mx/html/PIQAYQA/Esp/instalaciones.html>
- Robert L. Boylestad. *Análisis de Circuitos*. ed. Pearson education. Octava edición
- Robert L. Boylestad y Louis Nashelsky. *Electrónica: teoría de circuitos*. Ed. Prentice hall. Sexta edición
- Robert F. Coughlin y Frederick Driscoll. *Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales*. Ed. Prentice hall. Quinta edición
- Tippens. *Física, conceptos y aplicaciones*. Tercera edición, Mc Graw Hill.
- Jose Adolfo Gonzalez . *Introducción a los Microcontroladores* . MC Graw Hill.

- Manuales técnicos de Motorola "68HC11 Reference Manual"  
[http://www.mcu.motlps.com/freeweb/amcu\\_ndx.html#mcu11](http://www.mcu.motlps.com/freeweb/amcu_ndx.html#mcu11)
- Motorola semiconductor technical data. *MC68HC11F1 Technical Summary 8-Bit Microcontroller*
- Introducción a los microcontroladores  
<http://teleline.terra.es/personal/aro-cs/introduc.htm>
- Strempler, F. G. *Sistemas de Comunicación*. Addison Wesley. Tercera Edición
- Control PID, una revelación tutorial de los enigmas.  
<http://www.arian.cl>
- Kuo, B.C.-"Sistemas de Control Automatico". Prentice Hall Hispanoamericana; Mexico, 1996.
- Ogata, K."Ingeniería de Control Moderna". Prentice Hall Hispanoamericana, Mexico, 1998.
- Stephen J. Chapman.- "Maquinas Electricas". Mc Graw Hill, Mexico, 1992.
- Microcontrolador mc68hc11 Fundamentos, Recursos y Programación  
<http://www.arrakis.es/~microbot>
- Metodos Electricos  
[http://www.galeon.com/termometria/metodos\\_electricos.htm](http://www.galeon.com/termometria/metodos_electricos.htm)
- J. García, Ignacio Rodríguez, Alfonso Brazales. *Aprenda Visual Basic 6.0 como si estuviera en primero*. Escuela superior de Ingenieros Industriales. Año 1999.



---

---

APÉNDICE A  
HOJAS DE ESPECIFICACIONES

97

---

---

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

MC68HC11F1  
MC68HC11FC0

Technical Summary  
8-Bit Microcontroller

1 Introduction

The MC68HC11F1 is a high-performance member of the M68HC11 family of microcontroller units (MCUs). High-speed expanded systems required the development of this chip with its extra input/output (I/O) ports, an increase in static RAM (to 16Kb), internal chip-select functions, and a non-multiplexed bus which reduces the need for external interface logic. The timer, serial I/O, and analog-to-digital (A/D) converter enable functions similar to those found in the MC68HC11E9.

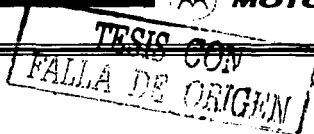
The MC68HC11FC0 is a low-cost, high-speed derivative of the MC68HC11F1. It does not have EEPROM or an analog-to-digital converter. The MC68HC11FC0 can operate at bus speeds as high as six MHz.

This document provides a brief overview of the structure, features, control registers, packaging information and availability of the MC68HC11F1 and MC68HC11FC0. For detailed information on MC68HC11 subsystems, programming and the instruction set, refer to the *M68HC11 Reference Manual* (MC68HC11RM/AD).

1.1 Features

- MC68HC11 CPU
- 512 Bytes of On-Chip Electrically Erasable Programmable ROM (EEPROM) with Block Protect (MC68HC11F1 only)
- 1024 Bytes of On-Chip RAM (All Saved During Standby)
- Enhanced 16-Bit Timer System
  - 3 Input Capture (IC) Functions
  - 4 Output Compare (OC) Functions
  - 4th IC or 5th OC (Software Selectable)
- On-Board Chip-Selects with Clock Stretching
- Real-Time Interrupt Circuit
- 8-Bit Pulse Accumulator
- Synchronous Serial Peripheral Interface (SPI)
- Asynchronous Non-return to Zero (NRZ) Serial Communication Interface (SCI)
- Power saving STOP and WAIT Modes
- Eight-Channel 8-Bit A/D Converter (MC68HC11F1 only)
- Computer Operating Property (COP) Watchdog System and Clock Monitor
- Bus Speeds of up to 6 MHz for the MC68HC11FC0 and up to 5 MHz for the MC68HC11F1
- 68-Pin PLCC (MC68HC11F1 only), 64-Pin QFP (MC68HC11FC0 only), and 80-pin TOFP package options

This document contains information on a new product. Specifications and information herein are subject to change without notice.



## 2 Pin Assignments and Signal Descriptions

### 2.1 MC68HC11F1 Pin Assignments

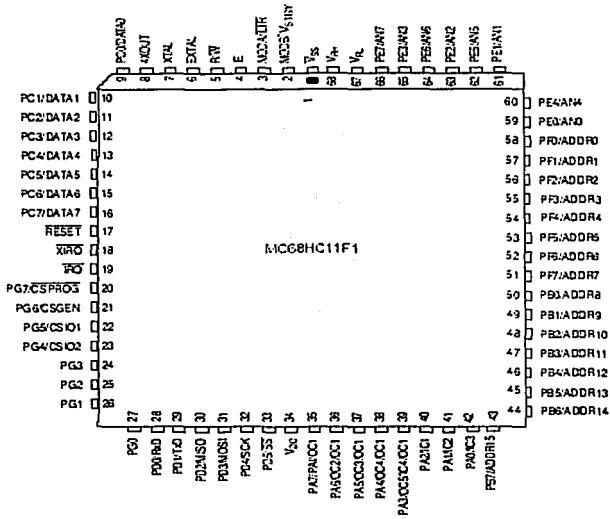
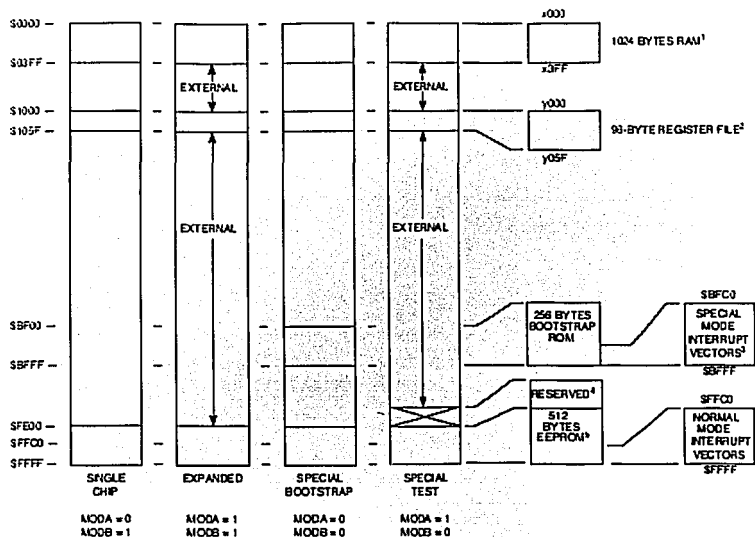


Figure 3 MC68HC11F1 68-Pin PLCC Pin Assignments

## 4.2 Memory Maps



### NOTES:

- RAM can be remapped to any 4-Kbyte boundary ( $Sx000$ ). "x" represents the value contained in RAM[3:0] in the INIT register.
- The register block can be remapped to any 4-Kbyte boundary ( $Sy000$ ). "y" represents the value contained in REG[3:0] in the INIT register.
- Special test mode vectors are externally addressed.
- In special test mode the address locations  $SzD00$ — $SzDFF$  are not externally addressable. "z" represents the value of bits EE[3:0] in the CONFIG register.
- EEPROM can be remapped to any 4-Kbyte boundary ( $Sz000$ ). "z" represents the value contained in EE[3:0] in the CONFIG register.

Figure 7 MC68HC11F1 Memory Map



CYPRESS

PRELIMINARY

CY6264

8K x 8 Static RAM

**Features**

- 55, 70 ns access times
- CMOS for optimum speed/power
- Easy memory expansion with CE<sub>1</sub>, CE<sub>2</sub>, and OE features
- TTL-compatible inputs and outputs
- Automatic power-down when deselected

**Functional Description**

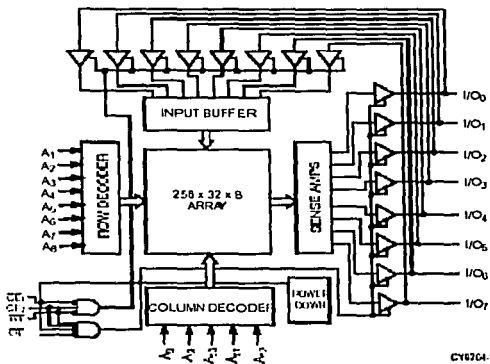
The CY6264 is a high-performance CMOS static RAM organized as 8192 words by 8 bits. Easy memory expansion is provided by an active LOW chip enable (CE<sub>1</sub>), an active HIGH chip enable (CE<sub>2</sub>), and active LOW output enable (OE) and three-state drivers. Both devices have an automatic power-down feature (CE<sub>1</sub>), reducing the power consumption by

over 70% when deselected. The CY6264 is packaged in a 450-mil (300-mil body) SOIC.

An active LOW write enable signal (WE) controls the writing/reading operation of the memory. When CE<sub>1</sub> and WE inputs are both LOW and CE<sub>2</sub> is HIGH, data on the eight data input/output pins (I/O<sub>0</sub> through I/O<sub>7</sub>) is written into the memory location addressed by the address present on the address pins (A<sub>3</sub> through A<sub>9</sub>). Reading the device is accomplished by selecting the device and enabling the outputs, CE<sub>1</sub> and OE active LOW, CE<sub>2</sub> active HIGH, while WE remains inactive or HIGH. Under these conditions, the contents of the location addressed by the information on address pins is present on the eight data input/output pins.

The input/output pins remain in a high-impedance state unless the chip is selected, outputs are enabled, and write enable (WE) is HIGH. A die coat is used to insure alpha immunity.

**Logic Block Diagram**



**Pin Configuration**



**Selection Guide**

	CY6264-55	CY6264-70
Maximum Access Time (ns)	55	70
Maximum Operating Current (mA)	100	100
Maximum Standby Current (mA)	20/15	20/15

Shaded area contains advanced information.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**Maximum Ratings**

(Above which the useful life may be impaired. For user guidance, not tested.)

Storage Temperature .....	-65 °C to +150 °C
Ambient Temperature with Power Applied .....	-55 °C to +125 °C
Supply Voltage to Ground Potential .....	-0.5V to +7.0V
DC Voltage Applied to Outputs in High Z State <sup>1)</sup> .....	-0.5V to +7.0V
DC Input Voltage <sup>1)</sup> .....	-0.5V to +7.0V

Output Current into Outputs (LOW) .....	20 mA
Static Discharge Voltage (per MIL-STD-883, Method 3015) .....	>2001V
Latch-Up Current .....	>200 mA

**Operating Range**

Range	Ambient Temperature	V <sub>CC</sub>
Commercial	0 °C to +70 °C	5V ± 10%

**Electrical Characteristics Over the Operating Range**

Parameter	Description	Test Conditions	6264-55		6264-70		Unit
			Min.	Max.	Min.	Max.	
V <sub>OH</sub>	Output HIGH Voltage	V <sub>CC</sub> = Min., I <sub>OH</sub> = -4.0 mA	2.4		2.4		V
V <sub>OL</sub>	Output LOW Voltage	V <sub>CC</sub> = Min., I <sub>OL</sub> = 8.0 mA		0.4		0.4	V
V <sub>IH</sub>	Input HIGH Voltage		2.2	V <sub>CC</sub>	2.2	V <sub>CC</sub>	V
V <sub>IL</sub>	Input LOW Voltage <sup>1)</sup>		-0.5	0.8	-0.5	0.8	V
I <sub>Ix</sub>	Input Load Current	GND ≤ V <sub>I</sub> ≤ V <sub>CC</sub>	-5	+5	-5	+5	µA
I <sub>OZ</sub>	Output Leakage Current	GND ≤ V <sub>I</sub> ≤ V <sub>CC</sub> , Output Disabled	-5	+5	-5	+5	µA
I <sub>OS</sub>	Output Short Circuit Current <sup>2)</sup>	V <sub>CC</sub> = Max., V <sub>OUT</sub> = GND		-300		-300	mA
I <sub>CC</sub>	V <sub>CC</sub> Operating Supply Current	V <sub>CC</sub> = Max., I <sub>OUT</sub> = 0 mA		100		100	mA
I <sub>SB1</sub>	Automatic CE <sub>1</sub> Power-Down Current	Max. V <sub>CC</sub> , CE <sub>1</sub> ≥ V <sub>IH</sub> , Min. Duty Cycle = 100%		20		20	mA
I <sub>SB2</sub>	Automatic CE <sub>1</sub> Power-Down Current	Max. V <sub>CC</sub> , CE <sub>1</sub> ≥ V <sub>CC</sub> - 0.3V, V <sub>IH</sub> ≥ V <sub>CC</sub> - 0.3V or V <sub>IH</sub> ≥ 0.3V		15		15	mA

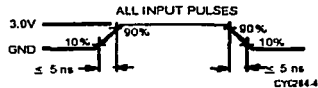
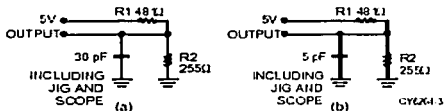
Shaded area contains advanced information.

**Capacitance<sup>3)</sup>**

Parameter	Description	Test Conditions	Max.	Unit
C <sub>IN</sub>	Input Capacitance	T <sub>A</sub> = 25°C, f = 1 MHz, V <sub>CC</sub> = 5.0V	7	pF
C <sub>OUT</sub>	Output Capacitance		7	pF

- 1) Minimum voltage is equal to -3.0V for pulse durations less than 30 ns.
- 2) Not less than 1 output should be shorted at any time. Duration of the short circuit should not exceed 30 seconds.
- 3) Tested initially and after any design or process changes that may affect these parameters.

**AC Test Loads and Waveforms**



Equivalent to: THEVENIN EQUIVALENT



## NMC27C64 65,536-Bit (8192 x 8) CMOS EPROM

### General Description

The NMC27C64 is a 64K UV erasable, electrically reprogrammable and one-time programmable (OTP) CMOS EPROM ideally suited for applications where fast turnaround, pattern experimentation and low power consumption are important requirements.

The NMC27C64 is designed to operate with a single +5V power supply with ±10% tolerance. The CMOS design allows the part to operate over extended and military temperature ranges.

The NMC27C64Q is packaged in a 28-pin dust-in-line package with a quartz window. The quartz window allows the user to expose the chip to ultraviolet light to erase the bit pattern. A new pattern can then be written electrically into the device by following the programming procedure.

The NMC27C64N is packaged in a 28-pin dual-in-line plastic molded package without a transparent lid. This part is ideally

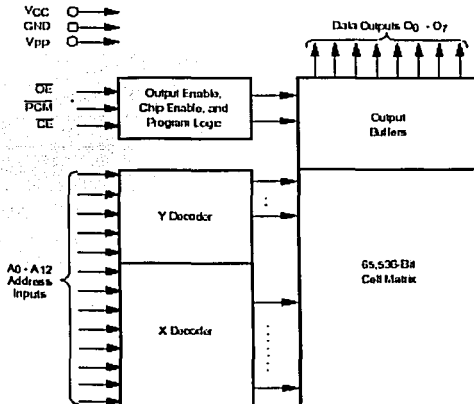
suited for high volume production applications where cost is an important factor and programming only needs to be done once.

This family of EPROMs are fabricated with Fairchild's proprietary, time proven CMOS double-poly silicon gate technology which combines high performance and high density with low power consumption and excellent reliability.

### Features

- High performance CMOS
  - 150 ns access time
- JEDEC standard pin configuration
  - 28-pin Plastic DIP package
  - 28-pin CERDIP package
- Drop-in replacement for 27C84 or 27C64
- Manufacturer's identification code

### Block Diagram



DS00624-1

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### Connection Diagram

27C 512 27512	27C 128 27128	27C 256 27256	27C 512 27512	27C 128 27128	27C 256 27256	HM27CG4		27C 16 2716	27C 32 2732	27C 64 2764	27C 128 27128	27C 256 27256	27C 512 27512
A15	V <sub>PP</sub>	V <sub>PP</sub>	A15	A15	A15	V <sub>11</sub>	1	V <sub>CC</sub>			V <sub>CC</sub>	V <sub>CC</sub>	V <sub>CC</sub>
A12	A12	A12	A12	A12	A12	A12	2	PGM			PGM	A14	A14
A7	A7	A7	A7	A7	A7	A7	3	NC			A13	A13	A13
A6	A6	A6	A6	A6	A6	A6	4	A8			A8	A8	A8
A5	A5	A5	A5	A5	A5	A5	5	A9			A9	A9	A9
A4	A4	A4	A4	A4	A4	A4	6	A11			A11	A11	A11
A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	7	OE			OE/V <sub>PP</sub>	OE	OE/MP
A2	A2	A2	A2	A2	A2	A2	8	A10			A10	A10	A10
A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1	9	CE			CE	CE/PGM	CE
A0	A0	A0	A0	A0	A0	A0	10	O7			O7	O7	O7
O0	O0	O0	O0	O0	O0	O0	11	O6			O6	O6	O6
O1	O1	O1	O1	O1	O1	O1	12	O5			O5	O5	O5
O2	O2	O2	O2	O2	O2	O2	13	O4			O4	O4	O4
GND	GND	GND	GND	GND	GND	GND	14	O3			O3	O3	O3

Note: Socket connector E143C1 pin configurations are shown in the blocks adjacent to the HM27CG4 pins.

DS066034-2

### Pin Names

A0-A12	Addresses
CE	Chip Enable
OE	Output Enable
O <sub>0</sub> -O <sub>7</sub>	Outputs
PGM	Program
NC	No Connect
V <sub>PP</sub>	Programming Voltage
V <sub>CC</sub>	Power Supply
GND	Ground

### Commercial Temperature Range V<sub>CC</sub> = 5V ±10%

Parameter/Order Number	Access Time (ns)
NMC27C64Q, N150	150
NMC27C64Q, N200	200

### Extended Temp Range (-40°C to +85°C) V<sub>CC</sub> = 5V ±10%

Parameter/Order Number	Access Time (ns)
NMC27C64QE, NE200	200



### Absolute Maximum Ratings (Notes 1)

Temperature Under Bias	-55°C to +125°C
Storage Temperature	-65°C to +150°C
All Input Voltages except A0 with Respect to Ground (Note 10)	+6.5V to -0.5V
All Output Voltages with Respect to Ground (Note 10) $V_{CC} + 1.0V$ to GND -0.5V	
$V_{IH}$ Supply Voltage and $A_3$ with Respect to Ground During Programming	+14.0V to -0.5V
$V_{OL}$ Supply Voltage with Respect to Ground	+7.0V to -0.5V

Power Dissipation	1.0W
Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)	300°C
ESD Rating (MIL Spec B83C, Method 2015.2)	2000V

### Operating Conditions (Note 7)

Temperature Range	0°C to +70°C
NMC27C64Q 150, 200	
NMC27C64N 150, 200	
NMC27C64QE 200	-40°C to +85°C
NMC27C64NE 200	
$V_{CC}$ Power Supply	+5V ±10%

## READ OPERATION

### DC Electrical Characteristics

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
$I_{IL}$	Input Load Current	$V_{IN} = V_{CC}$ or GND			10	μA
$I_{LO}$	Output Leakage Current	$V_{OL} = V_{CC}$ or GND, $\overline{CE} = V_{IH}$			10	μA
$I_{CC1}$ (Note 9)	$V_{CC}$ Current (Active) TTL Inputs	$\overline{CE} = V_{IL}$ , $f = 5$ MHz Inputs = $V_{IH}$ or $V_{IL}$ , $I_{IO} = 0$ mA		5	20	mA
$I_{CC2}$ (Note 9)	$V_{CC}$ Current (Active) CMOS Inputs	$\overline{CE} =$ GND, $f = 5$ MHz Inputs = $V_{CC}$ or GND, $I_{IO} = 0$ mA		3	10	mA
$I_{CCM1}$	$V_{CC}$ Current (Standby) TTL Inputs	$\overline{CE} = V_{IH}$		0.1	1	mA
$I_{CCM2}$	$V_{CC}$ Current (Standby) CMOS Inputs	$\overline{CE} = V_{CC}$		0.5	100	μA
$I_{OH}$	VPP Load Current	$V_{IN} = V_{CC}$		10		μA
$V_{IL}$	Input Low Voltage		-0.1		0.8	V
$V_{IH}$	Input High Voltage		2.0		$V_{CC} + 1$	V
$V_{OL1}$	Output Low Voltage	$I_{OL} = 2.1$ mA			0.45	V
$V_{OH1}$	Output High Voltage	$I_{OH} = -100$ μA	2.4			V
$V_{OL2}$	Output Low Voltage	$I_{OL} = 0$ μA			0.1	V
$V_{OH2}$	Output High Voltage	$I_{OH} = 0$ μA	$V_{CC} - 0.1$			V

### AC Electrical Characteristics

Symbol	Parameter	Conditions	NMC27C64				Units
			150		200, E200		
			Min	Max	Min	Max	
$t_{ACC}$	Address to Output Delay	$\overline{CE} = \overline{OE} = V_{IL}$ $\overline{PGM} = V_{IH}$		150		200	ns
$t_{CE}$	$\overline{CE}$ to Output Delay	$\overline{OE} = V_{IL}$ , $\overline{PGM} = V_{IH}$		150		200	ns
$t_{OE}$	$\overline{OE}$ to Output Delay	$\overline{CE} = V_{IL}$ , $\overline{PGM} = V_{IH}$		60		60	ns
$t_{SH}$	$\overline{OE}$ High to Output Float	$\overline{CE} = V_{IL}$ , $\overline{PGM} = V_{IH}$	0	60	0	60	ns
$t_{CH}$	$\overline{CE}$ High to Output Float	$\overline{OE} = V_{IL}$ , $\overline{PGM} = V_{IH}$	0	60	0	60	ns
$t_{H1}$	Output Hold from Addresses, $\overline{CE}$ or $\overline{OE}$ , Whichever Occurred First	$\overline{CE} = \overline{OE} = V_{IL}$ $\overline{PGM} = V_{IH}$	0		0		ns

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## MM74C922 • MM74C923 16-Key Encoder • 20-Key Encoder

### General Description

The MM74C922 and MM74C923 CMOS key encoders provide all the necessary logic to fully encode an array of SPST switches. The keyboard scan can be implemented by either an external deck or external capacitor. These encoders also have on-chip pull-up devices which permit switches with up to 50 k $\Omega$  on-resistance to be used. No diodes in the switch array are needed to eliminate ghost switches. The internal debounce circuit needs only a single external capacitor and can be disabled by crimping the capacitor. A Data Available output goes to a high level when a valid keyboard entry has been made. The Data Available output returns to a low level when the entered key is released, even if and for key is depressed. The Data Available will return high to indicate acceptance of the new key after a normal debounce period, this two-key roll-over is provided between any two switches.

An internal register remembers the last key pressed even after the key is released. The 3-STATE outputs provide for easy expansion and bus operation and are LPTTL compatible.

### Features

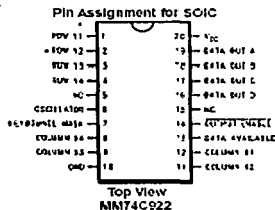
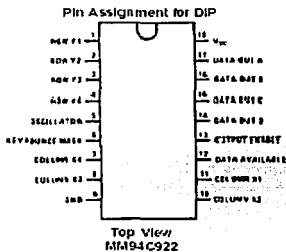
- 50 k $\Omega$  maximum switch on-resistance
- On or off chip clock
- On-chip low pull-up devices
- 2 key roll-over
- Keybounce elimination with single capacitor
- Last key register at outputs
- 3-STATE output LPTTL compatible
- Wide supply range: 3V to 15V
- Low power consumption

### Ordering Code:

Order Number	Package Number	Package Description
MM74C922N	N18A	18-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300" Wide
MM74C922WM	M20B	20-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-013, 0.300" Wide
MM74C923WM	M20B	20-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-013, 0.300" Wide
MM74C923N	N20A	20-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300" Wide

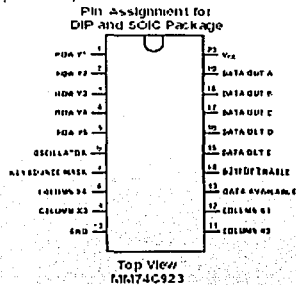
Consult the pinout table in Table 2 and Row 1. Specify by appending suffix letter "X" to the ordering code.

### Connection Diagrams



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## Connection Diagrams (continued)



## Truth Tables

(Pins 6 through 11)

Switch Position	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Y1,X1	Y1,X2	Y1,X3	Y1,X4	Y2,X1	Y2,X2	Y2,X3	Y2,X4	Y3,X1	Y3,X2	Y3,X3	Y3,X4
D												
A A	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
T B	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
A C	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
O D	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
U E (Note 1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T												

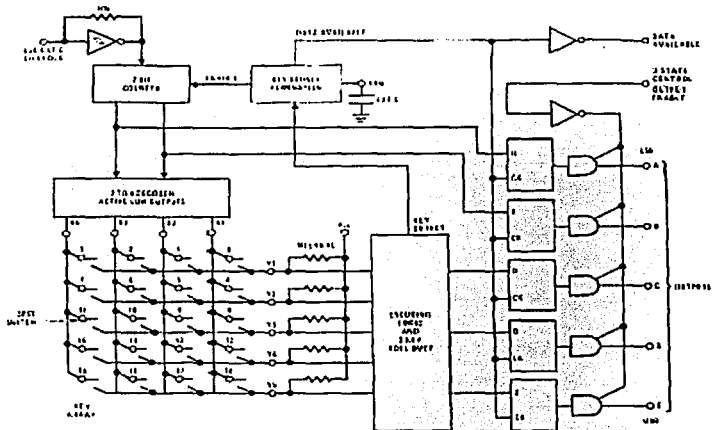
(Pins 12 through 19)

Switch Position	12	13	14	15	16	17	18	19
	Y4,X1	Y4,X2	Y4,X3	Y4,X4	Y5 (Note 1), X1	Y5 (Note 1), X2	Y5 (Note 1), X3	Y5 (Note 1), X4
D								
A A	0	1	0	1	0	1	0	1
T B	0	0	1	1	0	0	1	1
A C	1	1	1	1	0	0	0	0
O D	1	1	1	1	0	0	0	0
U E (Note 1)	0	0	0	0	1	1	1	1
T								

Note 1: Omit for L9274C022

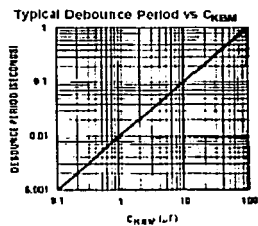
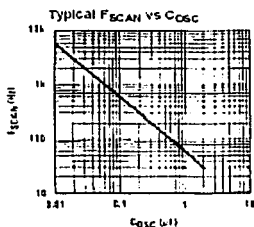
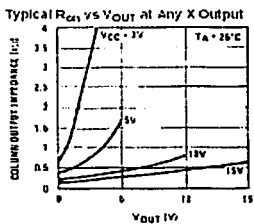
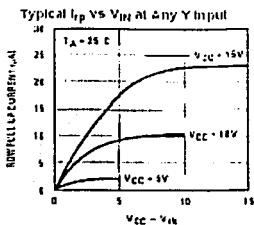
**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

# Block Diagram



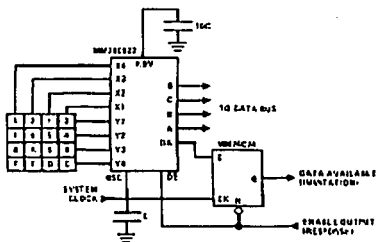
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## Typical Performance Characteristics



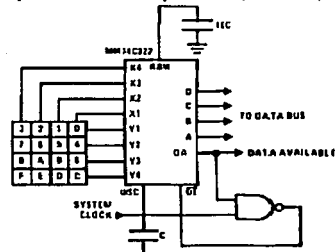
## Typical Applications

Synchronous Handshake (MM74C922)



The keyboard may be synchronously scanned by omitting the capacitor at osc and driving osc directly if the system clock rate is lower than 10 kHz.

Synchronous Data Entry Onto Bus (MM74C922)



Outputs are enabled when valid entry is made and go into 3-STATE when bus is released.

The keyboard may be synchronously scanned by omitting the capacitor at osc and driving osc directly if the system clock rate is lower than 10 kHz.

## DM74LS74A Dual Positive-Edge-Triggered D Flip-Flops with Preset, Clear and Complementary Outputs

### General Description

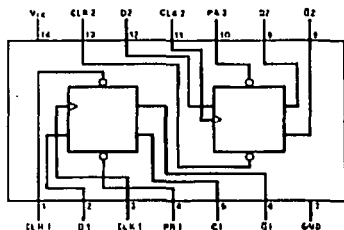
This device contains two independent positive-edge-triggered D flip-flops with complementary outputs. The information on the D input is accepted by the flip-flops on the positive going edge of the clock pulse. The triggering occurs at a voltage level and is not directly related to the transition time of the rising edge of the clock. The data on the D input may be changed while the clock is LOW or HIGH without affecting the outputs as long as the data setup and hold times are not violated. A low logic level on the preset or clear inputs will set or reset the outputs regardless of the logic levels of the other inputs.

### Ordering Code:

Order Number	Package Number	Package Description
DM74LS74AM	M14A	14 Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-120, 0.150 Narrow
DM74LS74ASJ	M14D	14-Lead Small Outline Package (SOP), EIAJ TYPE II, 5.0mm Wide
DM74LS74AN	N14A	14-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300 Wide

Ordering and availability in Tape and Reel, specify by appending the suffix "R" to the ordering code.

### Connection Diagram



### Function Table

PR	Inputs			Outputs	
	CLR	CLK	D	Q	$\bar{Q}$
L	H	X	X	H	L
H	L	X	X	L	H
L	L	X	X	H (Note 1)	H (Note 1)
H	H	T	H	H	L
H	H	T	L	L	H
H	H	L	X	$Q_0$	$\bar{Q}_0$

H - HIGH Logic Level  
X - Either LOW or HIGH Logic Level

L - LOW Logic Level

T - Positive-going Transition

$Q_0$  - The output logic level of Q before the indicated input conditions were established.

Note 1: This configuration is nonstable, that is, it will not persist when either the preset and/or clear inputs return to their inactive (HIGH) level.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

# MOC3009 THRU MOC3012 OPTOCOUPLED/OPTOISOLATORS

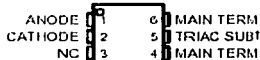
SOI 5201A AUGUST 1985 - REVISED APRIL 1994

- 250 V Phototriac Driver Output
- Gallium-Arsenide-Diode Infrared Source and Optically Coupled Silicon Triac Driver (Bilateral Switch)
- UL Recognized . . . File Number E65085
- High Isolation . . . 7500 V Peak
- Output Driver Designed for 115 Vac
- Standard 6-Pin Plastic DIP
- Directly Interchangeable with Motorola MOC3009, MOC3010, MOC3011, and MOC3012

### typical 115 Vac(rms) applications

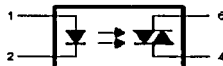
- Solenoid/Valve Controls
- Lamp Ballasts
- Interfacing Microprocessors to 115-Vac Peripherals
- Motor Controls
- Incandescent Lamp Dimmers

MOC30209 - MOC3012 . . . PACKAGE  
(TOP VIEW)



† Do not connect this terminal  
NC - No Internal connection

### logic diagram



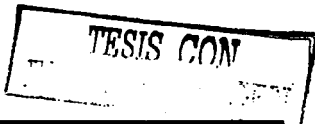
### absolute maximum ratings at 25 C free-air temperature (unless otherwise noted)†

Input-to-output peak voltage, 5 s maximum duration, 50 Hz (see Note 1)	7.5 kV
Input diode reverse voltage	3 V
Input diode forward current, continuous	50 mA
Output repetitive peak off-state voltage	250 V
Output on-state current, total rms value (50-60 Hz, full sine wave); T <sub>A</sub> = 25°C	100 mA
T <sub>A</sub> = 70°C	50 mA
Output driver nonrepetitive peak on-state current (t <sub>off</sub> = 10 ms, duty cycle = 10%, see Figure 7)	1.2 A
Continuous power dissipation at (or below) 25°C free-air temperature:	
Infrared-emitting diode (see Note 2)	100 mW
Phototriac (see Note 3)	300 mW
Total device (see Note 4)	330 mW
Operating junction temperature range, T <sub>J</sub>	-40°C to 100°C
Storage temperature range, T <sub>stg</sub>	-40°C to 150°C
Lead temperature 1.6 (1/16 inch) from case for 10 seconds	260°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

NOTES: 1. Input-to-output peak voltage is the internal device dielectric breakdown rating.

2. Derate linearly to 100°C free-air temperature at the rate of 1.33 mW/C.
3. Derate linearly to 100°C free-air temperature at the rate of 4 mW/C.
4. Derate linearly to 100°C free-air temperature at the rate of 4.4 mW/C.



PRESCRIPTION DATA INFORMATION IS CONTAINED ON PUBLICATION DATE. Please do not use this information for the purpose of diagnosing or treating a patient or for any other purpose without the advice and supervision of a qualified medical professional. The information provided herein does not constitute an offer of medical services or any other medical services.

 **TEXAS  
INSTRUMENTS**

Copyright © 1998, Texas Instruments Incorporated

111

# MOC3009 THRU MOC3012 OPTOCOUPLEDERS/OPTOISOLATORS

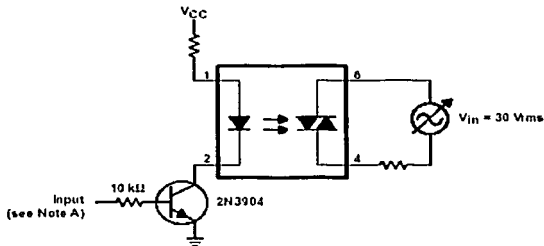
NSC 5021A - AUGUST 1986 - REVISED APRIL 1991

electrical characteristics at 25°C free-air temperature (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
$I_R$	Static reverse current	$V_R = 3\text{ V}$		0.05	100	$\mu\text{A}$
$V_F$	Static forward voltage	$I_F = 10\text{ mA}$		1.2	1.5	V
$I_{PRM}$	Repetitive off-state current, either direction	$V_{PRM} = 250\text{ V}$ , See Note 5		10	100	nA
$dv/dt$	Critical rate of rise of off-state voltage	See Figure 1		12		V/ $\mu\text{s}$
$dv/dt(c)$	Critical rate of rise of commutating voltage	$I_O = 15\text{ mA}$ , See Figure 1		0.15		V/ $\mu\text{s}$
$I_{FT}$	Input trigger current, either direction	MOC3009		15	30	mA
		MOC3010	Output supply voltage = 3 V	8	15	
		MOC3011		5	10	
		MOC3012			5	
$V_{TM}$	Peak on-state voltage, either direction	$I_{TM} = 100\text{ mA}$		1.8	3	V
$I_H$	Holding current, either direction			100		$\mu\text{A}$

NOTE 5: Test voltage must be applied within  $dv/dt$  rating.

## PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION



NOTE A: The critical rate of rise of off-state voltage,  $dv/dt$ , is measured with the input at 0 V. The frequency of  $V_{IN}$  is increased until the photodiode just turns on. This frequency is then used to calculate the  $dv/dt$  according to the formula:

$$dv/dt = 2\sqrt{2} \pi V_{IN}$$

The critical rate of rise of commutating voltage,  $dv/dt(c)$ , is measured by applying occasional 5-V pulses to the input and increasing the frequency of  $V_{IN}$  until the photodiode stays on (latches) after the input pulse has ceased. With no further input pulses, the frequency of  $V_{IN}$  is then gradually decreased until the photodiode turns off. The frequency at which turn-off occurs may then be used to calculate the  $dv/dt(c)$  according to the formula shown above.

Figure 1. Critical Rate of Rise Test Circuit

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



APPLICATIONS INFORMATION

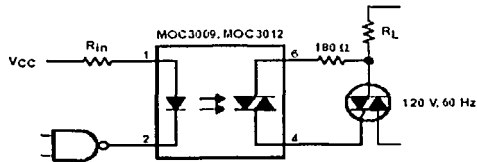


Figure 8. Resistive Load

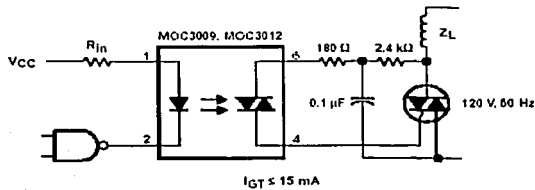


Figure 9. Inductive Load With Sensitive-Gate Triac

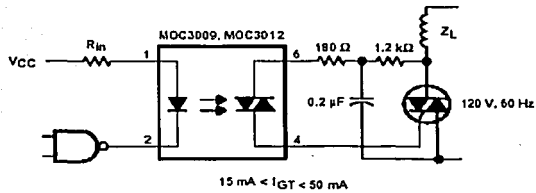


Figure 10. Inductive Load With Nonsensitive-Gate Triac

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## 6-Pin DIP Optoisolators Darlington Output

The 4N29(A), 4N30, 4N31, 4N32(1) and 4N33(1) devices consist of a gallium arsenide infrared emitting diode optically coupled to a monolithic silicon photo-darlington detector.

This series is designed for use in applications requiring high collector output currents at lower input currents.

- Higher Sensitivity to Low Input Drive Current
- Meets or Exceeds All JEDEC Registered Specifications
- To order devices that are tested and marked per VDE 0884 requirements, the suffix "V" must be included at end of part number. VDE 0884 is a test option.

### Applications

- Low Power Logic Circuits
- Interfacing and coupling systems of different potentials and impedances
- Telecommunications Equipment
- Portable Electronics
- Solid State Relays

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

Rating	Symbol	Value	Unit
<b>INPUT LED</b>			
Reverse Voltage	$V_R$	3	Volts
Forward Current — Continuous	$I_F$	60	mA
LED Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	120 1.41	mW mW/°C
<b>OUTPUT DETECTOR</b>			
Collector-Emitter Voltage	$V_{CE0}$	30	Volts
Emitter-Collector Voltage	$V_{ECO}$	5	Volts
Collector-Base Voltage	$V_{CBO}$	30	Volts
Collector Current — Continuous	$I_C$	150	mA
Detector Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	150 1.76	mW mW/°C
<b>TOTAL DEVICE</b>			
Isolation Surge Voltage <sup>(2)</sup> (Peak ac Voltage, 60 Hz, 1 sec Duration)	$V_{ISO}$	7500	Vac(pk)
Total Device Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	250 2.94	mW mW/°C
Ambient Operating Temperature Range <sup>(3)</sup>	$T_A$	-55 to +100	°C
Storage Temperature Range <sup>(3)</sup>	$T_{stg}$	-55 to +150	°C
Soldering Temperature (10 sec, 1/16" from case)	$T_L$	260	°C

1. Difference in 4N32 and 4N33 is JEDEC Registration for VISO only. All Motorola 6-Pin devices exceed JEDEC specification and are 7500 Vac(pk). The same applies for 4N29 and 4N30.
2. Isolation surge voltage is an internal device dielectric breakdown rating. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.
3. Refer to Quality and Reliability Section in Opto Data Book for information on test conditions. Preferred devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value. Global Optoisolator is a trademark of Motorola, Inc.

REV 4

© Motorola, Inc. 1995

**4N29**  
**4N29A**  
**4N30\***  
[CTR = 100% Min]  
**4N31**  
[CTR = 50% Min]  
**4N32\***  
**4N33\***  
[CTR = 50% Min]

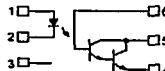
\*Motorola Preferred Devices

STYLE 1 PLASTIC



STANDARD THRU HOLE  
CASE 730A-04

SCHEMATIC



- PIN 1, LED ANODE
- LED CATHODE
- N.C.
- EMITTER
- COLLECTOR
- BASE

114



**MOTOROLA**

# LM555/NE555/SA555

## Single Timer

### Features

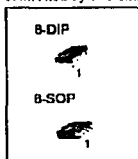
- High Current Drive Capability (200mA)
- Adjustable Duty Cycle
- Temperature Stability of  $0.005\%/^{\circ}\text{C}$
- Timing From  $\mu\text{S}$  to Hours
- Turn-off Time Less Than 2 $\mu\text{S}$

### Applications

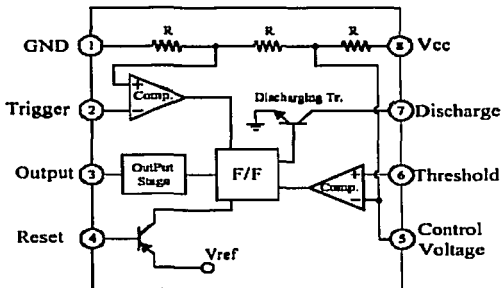
- Precision Timing
- Pulse Generation
- Time Delay Generation
- Sequential Timing

### Description

The LM555/NE555/SA555 is a highly stable controller capable of producing accurate timing pulses. With a monostable operation, the time delay is controlled by one external resistor and one capacitor. With an astable operation, the frequency and duty cycle are accurately controlled by two external resistors and one capacitor.



### Internal Block Diagram



## Electrical Characteristics

( $I_A = 20\mu\text{A}$ ,  $C_V = 5 - 15\text{V}$ , unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
Supply Voltage	VCC	-	4.5	-	16	V
Supply Current (Low Stable) (Note1)	ICC	VCC = 5V, RL = ∞	-	3	6	mA
		VCC = 15V, RL = ∞	-	7.5	15	mA
Timing Error (Monostable) Initial Accuracy (Note2) Drift with Temperature (Note4) Drift with Supply Voltage (Note4)	ACCUR ΔEAT ΔEAVCC	RA = 1kΩ to 100kΩ C = 0.1μF	-	1.0 50 0.1	3.0 0.5	% ppm/°C %/V
Timing Error (Astable) Initial Accuracy (Note2) Drift with Temperature (Note4) Drift with Supply Voltage (Note4)	ACCUR ΔEAT ΔEAVCC	RA = 1kΩ to 100kΩ C = 0.1μF	-	2.25 150 0.3	-	% ppm/°C %/V
Control Voltage	Vc	VCC = 15V	9.0	10.0	11.0	V
		VCC = 5V	2.6	3.33	4.0	V
Threshold Voltage	VTH	VCC = 15V	-	10.0	-	V
		VCC = 5V	-	3.33	-	V
Threshold Current (Note3)	ITH	-	-	0.1	0.25	μA
Trigger Voltage	VTR	VCC = 5V	1.1	1.67	2.2	V
		VCC = 15V	4.5	5	5.6	V
Trigger Current	ITR	VTR = 0V	-	0.01	2.0	μA
Reset Voltage	VRST	-	0.4	0.7	1.0	V
Reset Current	IRST	-	-	0.1	0.4	mA
Low Output Voltage	VOL	VCC = 15V ISINK = 10mA ISINK = 50mA	-	0.06 0.3	0.25 0.75	V V
		VCC = 5V ISINK = 5mA	-	0.05	0.35	V
High Output Voltage	VOH	VCC = 15V ISOURCE = 200mA ISOURCE = 100mA	12.75	13.3	-	V V
		VCC = 5V ISOURCE = 100mA	2.75	3.3	-	V
Rise Time of Output (Note4)	IR	-	-	100	-	ns
Fall Time of Output (Note4)	IF	-	-	100	-	ns
Discharge Leakage Current	ILKG	-	-	20	100	nA

### Notes:

- When the output is high, the supply current is typically 1mA less than at VCC = 5V.
- Tested at VCC = 5.0V and VCC = 15V.
- This will determine the maximum value of RA + RB for 15V operation, the max. total R = 20MΩ, and for 5V operation, the max. total R = 6.7MΩ.
- These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

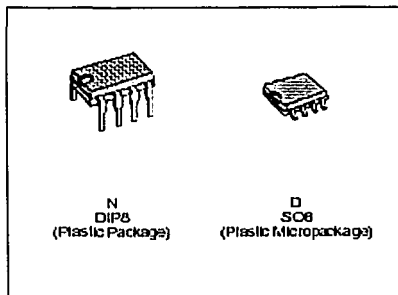


**SGS-THOMSON**  
MICROELECTRONICS

**TL081**  
**TL081A - TL081B**

**GENERAL PURPOSE**  
**SINGLE J-FET OPERATIONAL AMPLIFIERS**

- LOW POWER CONSUMPTION
- WIDE COMMON-MODE (UP TO  $V_{CC}$ ) AND DIFFERENTIAL VOLTAGE RANGE
- LOW INPUT BIAS AND OFFSET CURRENT
- OUTPUT SHORT-CIRCUIT PROTECTION
- HIGH INPUT IMPEDANCE J-FET INPUT STAGE
- INTERNAL FREQUENCY COMPENSATION
- LATCH UP FREE OPERATION
- HIGH SLEW RATE :  $16V/\mu s$  (typ)



#### DESCRIPTION

The TL081, TL081A and TL081B are high speed J-FET input single operational amplifiers incorporating well matched, high voltage J-FET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit.

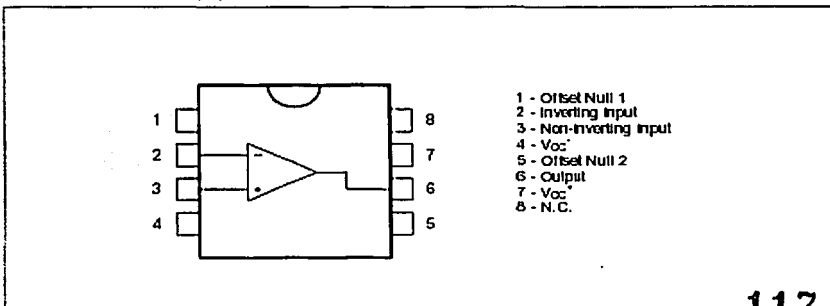
The devices feature high slew rates, low input bias and offset currents, and low offset voltage temperature coefficient.

#### ORDER CODES

Part Number	Temperature Range	Package	
		N	D
TL081M/AM/BM	-55°C, +125°C	•	•
TL081V/A/BI	-40°C, +105°C	•	•
TL081C/AC/BC	0°C, +70°C	•	•

Examples : TL081CD, TL081IN

#### PIN CONNECTIONS (top view)

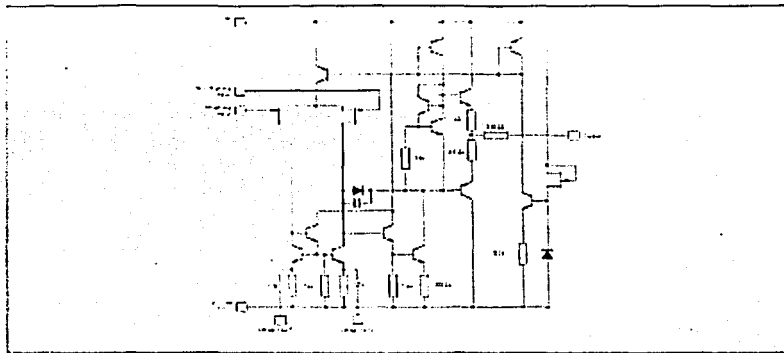


117

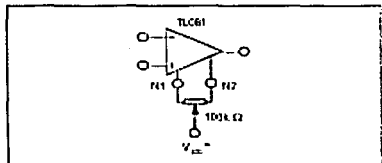
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

TL081 - TL081A - TL081B

SCHEMATIC DIAGRAM



INPUT OFFSET VOLTAGE NULL CIRCUITS



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
$V_{CC}$	Supply Voltage - (note 1)	$\pm 18$	V
$V_i$	Input Voltage - (note 3)	$\pm 15$	V
$V_{id}$	Differential Input Voltage - (note 2)	$\pm 30$	V
$P_{tot}$	Power Dissipation	680	mW
	Output Short-circuit Duration - (note 4)	Unlimited	
$T_{op}$	Operating Free Air Temperature Range	TL081C, A, B, C TL081M, A1, B1 TL081M, A1, B1, M	$^{\circ}\text{C}$
$T_{stg}$	Storage Temperature Range	-55 to 125	$^{\circ}\text{C}$

Notes:

- All voltage values, except differential voltage, are with respect to the zero reference level (ground) of the supply voltages when the zero reference level is the midpoint between  $V_{CC}$  and  $V_{EE}$ .
- Differential voltages are at the non-inverting input terminal with respect to the inverting input terminal.
- The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 volts, whichever is less.
- The output may be shorted to ground or to either supply. Temperature and/or supply voltages must be limited to ensure that the dissipation rating is not exceeded.

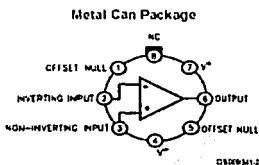
## LM741 Operational Amplifier

### General Description

The LM741 series are general purpose operational amplifiers which feature improved performance over industry standards like the LM709. They are direct plug-in replacements for the 709C, LM201, MC1439 and 748 in most applications. The amplifiers offer many features which make their application nearly foolproof: overload protection on the input and output, no latch-up when the common mode range is exceeded, as well as freedom from oscillations.

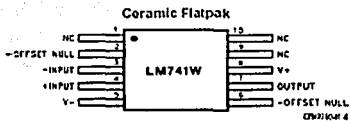
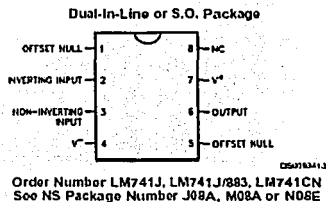
The LM741C is identical to the LM741, LM741A except that the LM741C has their performance guaranteed over a 0°C to +70°C temperature range, instead of -55°C to +125°C.

### Connection Diagrams

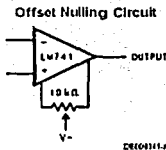


Note 1: LM741E is available per JEDEC1010101

Order Number LM741H, LM741H/883 (Note 1),  
LM741AH/883 or LM741CH  
See NS Package Number H08C



### Typical Application



## Absolute Maximum Ratings (Note 2)

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

(Note 7)

	LM741A	LM741	LM741C
Supply Voltage	±22V	±22V	±18V
Power Dissipation (Note 3)	500 mW	500 mW	500 mW
Differential Input Voltage	±30V	±30V	±30V
Input Voltage (Note 4)	±15V	±15V	±15V
Output Short Circuit Duration	Continuous	Continuous	Continuous
Operating Temperature Range	-55°C to +125°C	-55°C to +125°C	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Junction Temperature	150°C	150°C	100°C
Soldering Information			
N-Package (10 seconds)	200°C	260°C	260°C
J- or H-Package (10 seconds)	300°C	300°C	300°C
M-Package			
Vapor Phase (60 seconds)	215°C	215°C	215°C
Infrared (15 seconds)	215°C	215°C	215°C
See AII-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.			
ESD Tolerance (Note 8)	400V	400V	400V

## Electrical Characteristics (Note 5)

Parameter	Conditions	LM741A			LM741			LM741C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $R_{th} \leq 10\text{ k}\Omega$ $R_{th} \leq 50\Omega$		0.8	3.0		1.0	5.0		2.0	6.0	mV mV
	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$ $R_{th} \leq 50\Omega$ $R_{th} \leq 10\text{ k}\Omega$			4.0			6.0			7.5	mV mV
				15							$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Average Input Offset Voltage Drift				15							$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Voltage Adjustment Range	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , $V_{OS} = \pm 20\text{V}$	±10				±15			±15		mV
Input Offset Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$		3.0	30		20	200		20	200	nA nA
Average Input Offset Current Drift				0.5		85	500				nA/°C
Input Bias Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$		30	80		80	500		80	500	nA nA
Input Resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , $V_{IN} = \pm 20\text{V}$ $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$ , $V_{IN} = \pm 20\text{V}$	1.0	6.0	0.210	0.3	2.0	1.5	0.3	2.0	0.8	M $\Omega$ M $\Omega$
Input Voltage Range	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$				±12	±13		±12	±13		V V

120

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## LM111/LM211/LM311 Voltage Comparator

### 1.0 General Description

The LM111, LM211 and LM311 are voltage comparators that have input currents nearly a thousand times lower than devices like the LM106 or LM1710. They are also designed to operate over a wider range of supply voltages: from standard  $\pm 15V$  op amp supplies down to the single 5V supply used for IC logic. Their output is compatible with RTL, DTL and TTL as well as MOS circuits. Further, they can drive lamps or relays, switching voltages up to 50V at currents as high as 50 mA.

Both the inputs and the outputs of the LM111, LM211 or the LM311 can be isolated from system ground, and the output can drive loads referred to ground, the positive supply or the negative supply. Offset balancing and strobe capability are provided and outputs can be wire OR'ed. Although slower than the LM106 and LM1710 (200 ns response time vs 40 ns)

the devices are also much less prone to spurious oscillations. The LM111 has the same pin configuration as the LM106 and LM1710.

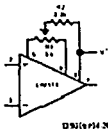
The LM211 is identical to the LM111, except that its performance is specified over a  $-25^{\circ}C$  to  $+85^{\circ}C$  temperature range instead of  $-55^{\circ}C$  to  $+125^{\circ}C$ . The LM311 has a temperature range of  $0^{\circ}C$  to  $+70^{\circ}C$ .

### 2.0 Features

- Operates from single 5V supply
- Input current: 150 nA max. over temperature
- Offset current: 20 nA max. over temperature
- Differential input voltage range:  $\pm 30V$
- Power consumption: 135 mW at  $\pm 15V$

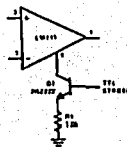
### 3.0 Typical Applications (Note 3)

Offset Balancing



DR0104-01

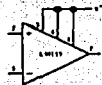
Strobing



DR00104-01

Note: Do Not Ground Strobe Pin. Output is turned off when current is pulled from Strobe Pin.

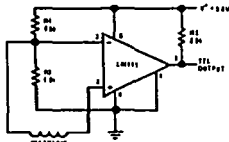
Increasing Input Stage Current (Note 1)



DR0104-02

Note 1: Increases typical common mode slew from 7.0V/ $\mu$ s to 16V/ $\mu$ s.

Detector for Magnetic Transducer



DR00104-03

## 5.0 Absolute Maximum Ratings for the LM311 (Note 12)

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

Total Supply Voltage ( $V_{CC}$ )	36V
Output to Negative Supply Voltage ( $V_{OL}$ )	40V
Ground to Negative Supply Voltage ( $V_{IL}$ )	30V
Differential Input Voltage	±30V
Input Voltages (Note 13)	±15V
Power Dissipation (Note 14)	500 mW
ESD Rating (Note 19)	300V
Output Short Circuit Duration	10 sec

Operating Temperature Range	0 to 70 °C
Storage Temperature Range	-65 °C to 150 °C
Lead Temperature (soldering, 10 sec)	260 °C
Voltage at Scribe Pin	$V^+ - 5V$
Soldering Information	
Dual-In-Line Package	
Soldering (10 seconds)	260 °C
Small Outline Package	
Vapor Phase (60 seconds)	215 °C
Infrared (15 seconds)	220 °C

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

## Electrical Characteristics (Note 15) for the LM311

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
Input Offset Voltage (Note 16)	$T_A = 25\text{ °C}$ , $R_{\text{EQ}} \leq 50\text{ k}\Omega$		2.0	7.5	mV
Input Offset Current (Note 16)	$T_A = 25\text{ °C}$		6.0	50	nA
Input Bias Current	$T_A = 25\text{ °C}$		100	250	nA
Voltage Gain	$T_A = 25\text{ °C}$	40	200		V/mV
Response Time (Note 17)	$T_A = 25\text{ °C}$		200		ns
Saturation Voltage	$V_{CC} = -10\text{ mV}$ , $I_{O(OUT)} = 50\text{ mA}$		0.75	1.5	V
Scribe ON Current (Note 18)	$T_A = 25\text{ °C}$		2.0	5.0	mA
Output Leakage Current	$V_{IN} = 10\text{ mV}$ , $V_{OUT} = 35\text{ V}$ $T_A = 25\text{ °C}$ , $I_{\text{S(STRIB)}} = 3\text{ mA}$ $V^+ = \text{Pin 1} = -5\text{ V}$		0.2	50	nA
Input Offset Voltage (Note 16)	$R_{\text{EQ}} \leq 50\text{ k}\Omega$			10	mV
Input Offset Current (Note 16)				70	nA
Input Bias Current				300	nA
Input Voltage Range		-14.5	13.8, -14.7	13.0	V
Saturation Voltage	$V_{CC} = 4.5\text{ V}$ , $V^+ = 0$ $V_{CC} = -10\text{ mV}$ , $I_{O(OUT)} = 5\text{ mA}$		0.23	0.4	V
Positive Supply Current	$T_A = 25\text{ °C}$		5.1	7.5	mA
Negative Supply Current	$T_A = 25\text{ °C}$		4.1	5.0	mA

Note 12: "Absolute Maximum Ratings" indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not guarantee specific performance limits."

Note 13: This rating applies for ±15V supplies. The positive input voltage limit is 30V above the negative supply. The negative input voltage limit is equal to the negative supply voltage or 30V below the positive supply, whichever is less.

Note 14: The maximum junction temperature of the LM311 is 110 °C. For operating at elevated temperatures, devices in the 1104 package must be derated based on a thermal resistance of 166 °C/W, junction to ambient, or 20 °C/W, junction to case. The thermal resistance of the dual in the package is 100 °C/W, junction to ambient.

Note 15: These specifications apply for  $V_{CC} = \pm 15\text{ V}$  and Pin 1 at ground, and  $0\text{ °C} < T_A < +70\text{ °C}$ , unless otherwise specified. The offset voltage, offset current and bias current specifications apply for any supply voltage from a single 5V supply up to ±15V supplies.

Note 16: The offset voltage and offset currents given are the maximum values required to drive the output within a volt of either supply with a 1 mA load. Thus, these parameters define an error band and take into account the worst case effects of voltage gain and  $R_{\text{EQ}}$ .

Note 17: The response time specified (see definition) is for a 100 mV input step with 5 mV overshoot.

Note 18: This specification gives the range of current which must be drawn from the scribe pin to ensure the output is properly clamped. Do not short the scribe pin to ground. It should be current device at 3 to 5 mA.

Note 19: Human body model, 15 k $\Omega$  in series with 100 pF.

## DM74LS123

### Dual Retriggerable One-Shot with Clear and Complementary Outputs

#### General Description

The DM74LS123 is a dual retriggerable monostable multivibrator capable of generating output pulses from a few nano seconds to extremely long duration up to 100% duty cycle. Each device has three inputs permitting the choice of either leading edge or trailing edge triggering. Pin (A) is an active-LOW transition trigger input and pin (B) is an active-HIGH transition trigger input. The clear (CLR) input terminates the output pulse at a predetermined time independent of the timing components. The clear input also serves as a trigger input when it is pulsed with a low level pulse transition ("L"). To obtain the best possible free operation from this device please read the operating rules as well as the Fairchild Semiconductor one-shot application notes carefully and observe recommendations.

#### Features

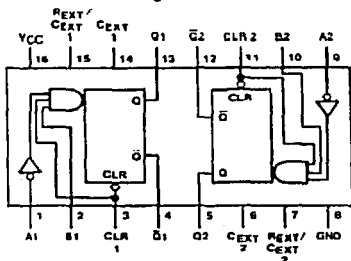
- DC triggered from active-HIGH transition or active-LOW transition inputs
- Retriggerable to 100% duty cycle
- Compensated for  $V_{CC}$  and temperature variations
- Triggerable from CLEAR input
- DTL, TTL compatible
- Input clamp diodes

#### Ordering Code:

Order Number	Package Number	Package Description
DM74LS123M	M16A	16-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-012, 0.150 Narrow
DM74LS123J	M16D	16-Lead Small Outline Package (SOP), EIAJ TYPE II, 5.3mm Wide
DM74LS123N	N16E	16-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300 Wide

Devices also available in Tube and Reel. Specify by appending the suffix letter 'X' to the ordering code.

#### Connection Diagram



#### Function Table

CLEAR	Inputs			Outputs	
	A	B		Q	$\bar{Q}$
L	X	X		L	H
X	H	X		L	H
X	X	L		L	H
H	L	1		$\bar{L}$	$\bar{H}$
H	L	H		$\bar{L}$	$\bar{H}$
1	L	H		$\bar{L}$	$\bar{H}$

H - HIGH Logic Level  
L - LOW Logic Level  
X - Can Be Either LOW or HIGH  
1 - Positive Going Transition  
- - Negative Going Transition  
 $\bar{L}$  - A Positive Pulse  
 $\bar{H}$  - A Negative Pulse

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

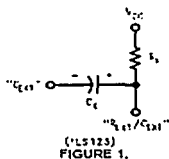
## Functional Description

The basic output pulse width is determined by selection of an external resistor ( $R_X$ ) and capacitor ( $C_X$ ). Once triggered, the basic pulse width may be extended by retriggering the gated active-LOW transition or active-HIGH transition inputs or be reduced by use of the active-LOW or

active-HIGH input. Retriggering to 100% duty cycle is possible by application of an input pulse train whose cycle time is shorter than the output cycle time such that a continuous "HIGH" logic state is maintained at the "Q" output.

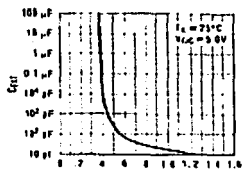
## Operating Rules

1. An external resistor ( $R_X$ ) and an external capacitor ( $C_X$ ) are required for proper operation. The value of  $C_X$  may vary from 0 to any necessary value. For small time constants high grade mica, glass, polypropylene, polycarbonate, or polystyrene material capacitors may be used. For large time constants use tantalum or special aluminum capacitors. If the timing capacitors have leakage approaching 100 nA or if stray capacitance from either terminal to ground is greater than 50 pF, the timing equations may not represent the pulse width the device generates.
2. When an electrolytic capacitor is used for  $C_X$ , a switching diode is often required for standard TTL one-shots to prevent high inverse leakage current. This switching diode is not needed for the DM74LS123 one-shot and should not be used. In general the use of the switching diode is not recommended with retriggerable operation. Furthermore, if a polarized timing capacitor is used on the DM74LS123 the negative terminal of the capacitor should be connected to the "C<sub>EXT</sub>" pin of the device (Figure 1).



3. For  $C_X >> 1000$  pF the output pulse width ( $t_W$ ) is defined as follows:  

$$t_W = KR_X C_X$$
 where  $R_X$  is in k $\Omega$   
 $C_X$  is in pF  
 $t_W$  is in ns  
 $K = 0.37$
4. The multiplicative factor  $K$  is plotted as a function of  $C_X$  below for design considerations:



"K" COEFFICIENT  
FIGURE 2.

5. For  $C_X < 1000$  pF see Figure 3 for  $t_W$  vs.  $C_X$  family curves with  $R_X$  as a parameter:

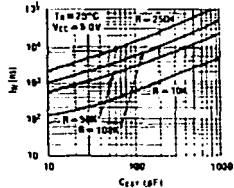


FIGURE 3.

6. To obtain variable pulse widths by remote trimming, the following circuit is recommended:

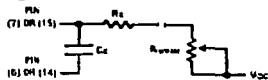


FIGURE 4.

7. "R<sub>TRIM</sub>" should be as close to the device pin as possible.
7. The retriggerable pulse width is calculated as shown below:  

$$T = t_W + t_{PLH} = K \times R_X \times C_X + t_{PLH}$$
 The retriggerable pulse width is equal to the pulse width plus a delay time period (Figure 5).

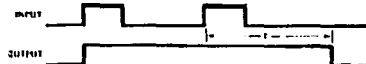


FIGURE 5.

## Absolute Maximum Ratings (Note 1)

Supply Voltage	V <sub>V</sub>
Input Voltage	V <sub>I</sub>
Operating Free Air Temperature Range	0 °C to +70 °C
Storage Temperature	-65 °C to +150 °C

Note 1: The "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the reliability of the device cannot be guaranteed. The device should not be operated at these limits. The parameter values defined in the Electrical Characteristics Tables are not guaranteed at the absolute maximum ratings. The Recommended Operating Conditions Table will define the conditions for actual device operation.

## Recommended Operating Conditions

Symbol	Parameter	Min	Nom	Max	Units
V <sub>CC</sub>	Supply Voltage	4.75	5	5.25	V
V <sub>IH</sub>	HIGH Level Input Voltage	2		V	V
V <sub>IL</sub>	LOW Level Input Voltage			0.8	V
I <sub>OH</sub>	HIGH Level Output Current			-0.4	mA
I <sub>OL</sub>	LOW Level Output Current			8	mA
t <sub>w</sub>	Pulse Width (Note 2)	A or B HIGH A or B LOW Clear LOW	40 40 40		ns
R <sub>EXT</sub>	External Timing Resistor	5		260	kΩ
C <sub>EXT</sub>	External Timing Capacitance		NO Restriction		pF
C <sub>WING</sub>	Wiring Capacitance at R <sub>EXT</sub> /C <sub>EXT</sub> Terminal			50	pF
T <sub>A</sub>	Free Air Operating Temperature	0		70	°C

Note 2: t<sub>w</sub> = 25 °C and V<sub>CC</sub> = 5V

## Electrical Characteristics

(over recommended operating free air temperature range, unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ (Note 3)	Max	Units
V <sub>I</sub>	Input Clamp Voltage	V <sub>CC</sub> = Min, I <sub>I</sub> = -16 mA			-1.5	V
V <sub>IH</sub>	HIGH Level Output Voltage	V <sub>CC</sub> = Max, V <sub>I</sub> = Max V <sub>IL</sub> = Max, V <sub>IH</sub> = Min	2.7	3.4	V	
V <sub>IL</sub>	LOW Level Output Voltage	V <sub>CC</sub> = Min, I <sub>OL</sub> = Max V <sub>IH</sub> = Max, V <sub>IL</sub> = Min I <sub>OL</sub> = 4 mA, V <sub>CC</sub> = Min		0.35 0.25	0.5 0.4	V
I <sub>I</sub>	Input Current @ Max Input Voltage	V <sub>CC</sub> = Max, V <sub>I</sub> = 7V			0.1	mA
I <sub>IH</sub>	HIGH Level Input Current	V <sub>CC</sub> = Max, V <sub>I</sub> = 2.7V			20	μA
I <sub>IL</sub>	LOW Level Input Current	V <sub>CC</sub> = Max, V <sub>I</sub> = 0.4V			-0.4	mA
I <sub>OS</sub>	Short Circuit Output Current	V <sub>CC</sub> = Max (Note 4)	-20		-100	mA
I <sub>CC</sub>	Supply Current	V <sub>CC</sub> = Max (Note 5) (Note 6) (Note 7)		12	20	mA

Note 3: All systems see at V<sub>CC</sub> = 5V, T<sub>A</sub> = 25 °C

Note 4: Not more than one output should be shorted at a time, and the duration should not exceed one second.

Note 5: Quiescent I<sub>CC</sub> is measured after discharge with 2.4V applied to all clear and A inputs, B inputs grounded, all outputs OPEN. C<sub>EXT</sub> = 0.02 μF and R<sub>EXT</sub> = 25 kΩ.

Note 6: I<sub>CC</sub> is measured in the high state with 2.4V applied to all clear and B inputs, A inputs grounded, all outputs OPEN. C<sub>EXT</sub> = 0.02 μF and R<sub>EXT</sub> = 25 kΩ.

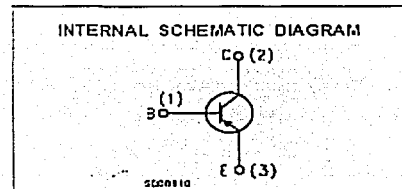
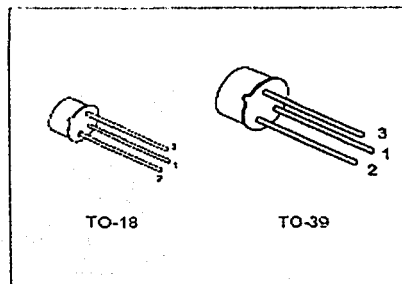
Note 7: With all outputs OPEN and 4.5V applied to all data and clear inputs, I<sub>CC</sub> is measured after a momentary ground, then 4.5V is applied to the clock.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**GENERAL PURPOSE AMPLIFIERS AND SWITCHES**
**DESCRIPTION**

The 2N2905 and 2N2907 are silicon planar epitaxial PNP transistors in Jedec TO-39 (for 2N2905) and in Jedec TO-18 (for 2N2907) metal case. They are designed for high speed saturated switching and general purpose application.

- ☐ 2N2905 approved to CECC 50002-102.
- ☐ 2N2907 approved to CECC 50002-103 available on request.


**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS**

Symbol	Parameter	Value	Unit
$V_{CB0}$	Collector-Base Voltage ( $I_E = 0$ )	-60	V
$V_{CE0}$	Collector-Emitter Voltage ( $I_B = 0$ )	-40	V
$V_{EB0}$	Emitter-Base Voltage ( $I_C = 0$ )	-5	V
$I_C$	Collector Current	-0.6	A
$P_{tot}$	Total Dissipation at $T_{amb} \leq 25^\circ\text{C}$		
	for 2N2905	0.6	W
	for 2N2907	0.4	W
	at $T_{case} \leq 25^\circ\text{C}$		
	for 2N2905	3	W
	for 2N2907	1.8	W
$T_{stg}$	Storage Temperature	-65 to 200	$^\circ\text{C}$
$T_J$	Max. Operating Junction Temperature	200	$^\circ\text{C}$

**TESIS CON**  
**FALLA DE ORIGEN**

## THERMAL DATA

					TO-39	TO-18	
$R_{\theta(jc)}$	Thermal Resistance	Thermal Resistance	Junction-Case	Max	58.3	97.3	$^{\circ}\text{C/W}$
$R_{\theta(ja)}$	Thermal Resistance	Thermal Resistance	Junction-Ambient	Max	292	437.5	$^{\circ}\text{C/W}$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_{\text{case}} = 25^{\circ}\text{C}$  unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$I_{C(sat)}$	Collector Cut-off Current ( $I_E = 0$ )	$V_{CB} = -50\text{ V}$ $V_{CE} = -50\text{ V}$ $I_{C(sat)} = 150\text{ mA}$			-20	nA
$I_{CEX}$	Collector Cut-off Current ( $V_{BE} = -0.5\text{ V}$ )	$V_{CE} = -30\text{ V}$			-50	nA
$I_{E(s)}$	Base Cut-off Current ( $V_{BE} = -0.5\text{ V}$ )	$V_{CE} = -30\text{ V}$			-50	nA
$V_{BR(BCO)}$	Collector-Base Breakdown Voltage ( $I_E = 0$ )	$I_C = -10\text{ }\mu\text{A}$	-60			V
$V_{BR(CE)}$	Collector-Emitter Breakdown Voltage ( $I_E = 0$ )	$I_C = -10\text{ mA}$	-40			V
$V_{BR(EB)}$	Emitter-Base Breakdown Voltage ( $I_E = 0$ )	$I_C = -10\text{ }\mu\text{A}$	-5			V
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = -150\text{ mA}$ $I_B = -15\text{ mA}$ $I_C = -500\text{ mA}$ $I_B = -50\text{ mA}$			-0.4 -1.6	V
$V_{BE(sat)}$	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C = -150\text{ mA}$ $I_B = -15\text{ mA}$ $I_C = -500\text{ mA}$ $I_B = -50\text{ mA}$			-1.3 -2.0	V
$\beta_{FE}$	DC Current Gain	$I_C = -0.1\text{ mA}$ $V_{CE} = -10\text{ V}$ $I_C = -1\text{ mA}$ $V_{CE} = -10\text{ V}$ $I_C = -10\text{ mA}$ $V_{CE} = -10\text{ V}$ $I_C = -150\text{ mA}$ $V_{CE} = -10\text{ V}$ $I_C = -500\text{ mA}$ $V_{CE} = -10\text{ V}$	35 50 75 100 30		300	
$f_T$	Transition Frequency	$V_{CE} = -20\text{ V}$ $I = 100\text{ MHz}$ $I_C = -50\text{ mA}$	200			MHz
$C_{EB}$	Emitter Base Capacitance	$I_C = 0$ $V_{CB} = -2\text{ V}$ $f = 1\text{ MHz}$			30	pF
$C_{CB}$	Collector Base Capacitance	$I_E = 0$ $V_{CB} = -10\text{ V}$ $f = 1\text{ MHz}$			8	pF
$t_d$	Delay Time	$V_{CE} = -30\text{ V}$ $I_C = -150\text{ mA}$ $I_{B1} = -15\text{ mA}$			10	ns
$t_r$	Rise Time	$V_{CE} = -30\text{ V}$ $I_C = -150\text{ mA}$ $I_{B1} = -15\text{ mA}$			40	ns
$t_s$	Storage Time	$V_{CE} = -6\text{ V}$ $I_C = -150\text{ mA}$ $I_{B1} = -I_{B2} = -15\text{ mA}$			80	ns
$t_f$	Fall Time	$V_{CE} = -6\text{ V}$ $I_C = -150\text{ mA}$ $I_{B1} = -I_{B2} = -15\text{ mA}$			30	ns

\* Pulsed. Pulse duration = 300  $\mu\text{s}$ , duty cycle  $\leq 1\%$ .

TESIS CON  
 FALLA DE URGENTE 7

---

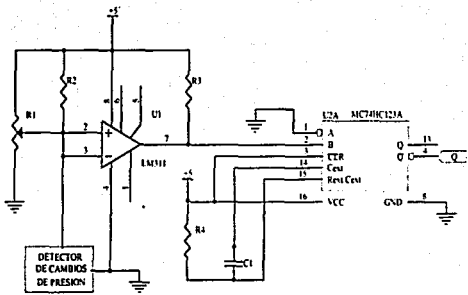
---

APÉNDICE B  
DIAGRAMAS ELECTRÓNICOS

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



D  
C  
B  
A



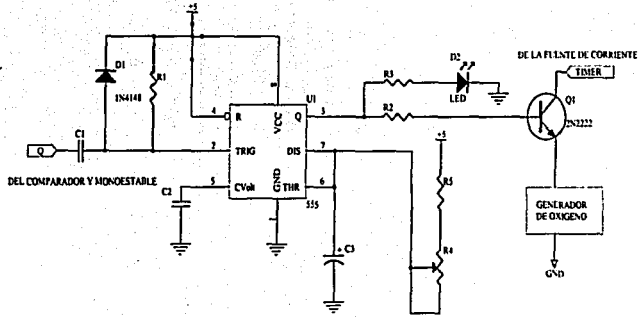
129

Title		
COMPARADOR Y MONOESTABLE		
Size	Number	Revision
Letter		
Date	18-Aug-2003	Sheet of
File	C:\Me de proyectos\TESS\1001\Compara	Drawn by

1 2 3 4

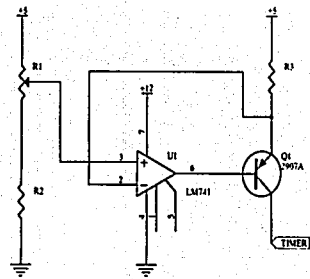
**TEJIS CON FALLA DE ORIGEN**

**130**



Title		
TIMER		
Size	Number	Revision
Layer		
Date	18-Aug-2003	1 Sheet of
File	C:\file\Academia\TEJIS DINO\Circuitos\130.dwg	

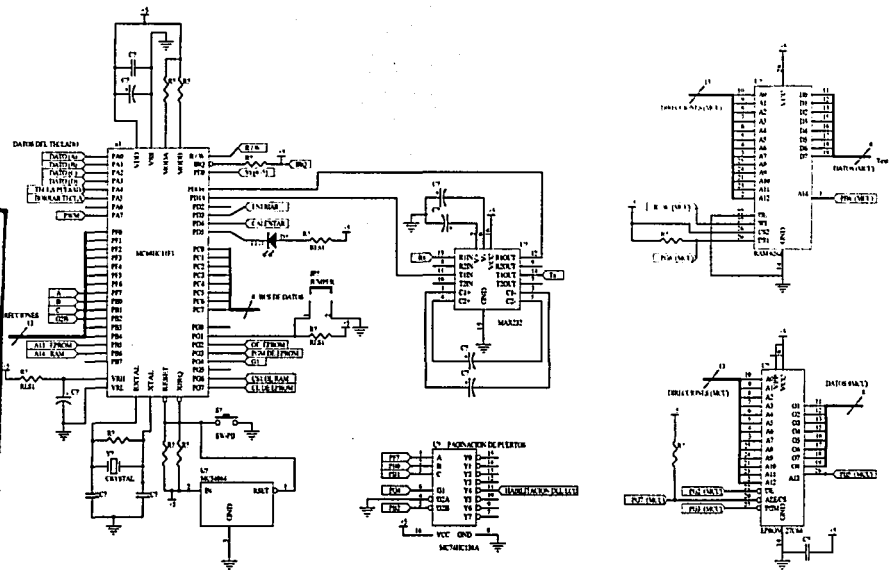
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



131

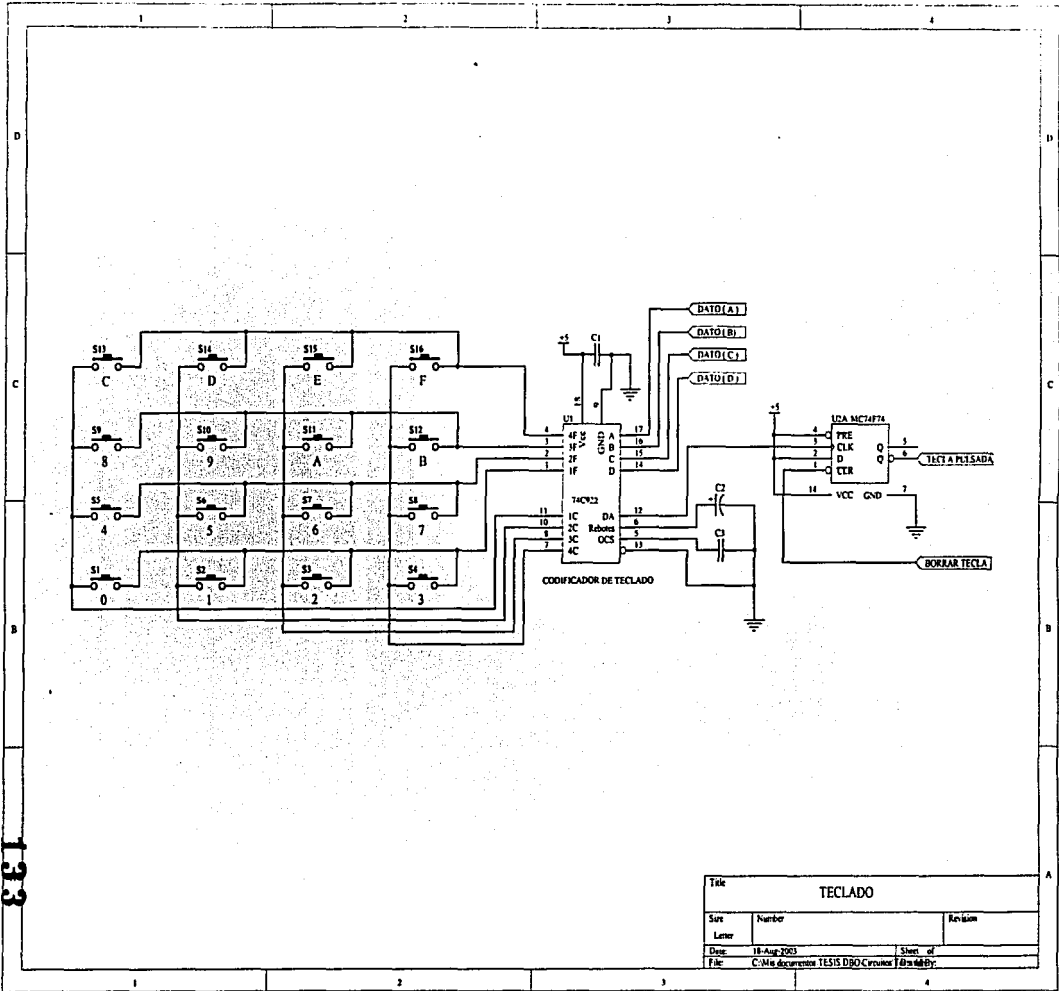
Título		
FUENTE DE CORRIENTE		
Sub	Numero	Revision
Letra		
Date: 18-Aug-2003		Sheet of
File: C:\Me documentos\TESIS DBO\Circuitos\2 Bro.indd		

**TESIS CON  
FALLA DE CARGEN**



132

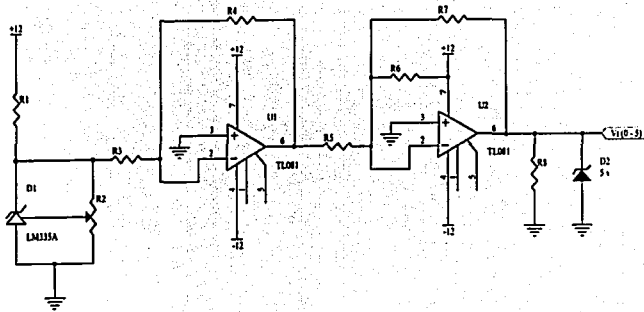
Doc	UNIDAD PR-4 (ASAMBLADO CAR. SER. 101)	
Nº	Number	Revisión
B		
Draw	10-206-202	Sheet of
File	C. de la Asamblado 11011 (C. de la Asamblado)	



Título		
TECLADO		
Serie	Numero	Revisión
Fecha	18-Ago-2003	Sheet of
File:	C:\Me documentos\TESIS DBOC\cruciver\TESIS.DOC	

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

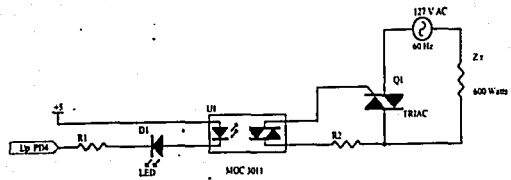
134



Title		
CIRCUITO ACONDICIONADOR DE SEÑAL (CAS)		
Size	Number	Revision
Letter		
Date	18-Aug-2003	1 Sheet of
File	C:\Mis documentos\TESIS DBO\Circuitos\134.dwg	

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

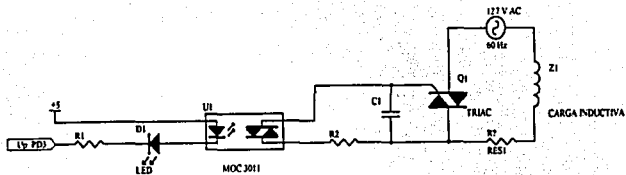
135



Title		
CALENTAMIENTO		
Size	Number	Revision
Letter		
Date	18-Aug-2001	Sheet of
File	C:\Msu.doc\cursos\TESIS DBO\Circuitos\18m448.Dr	

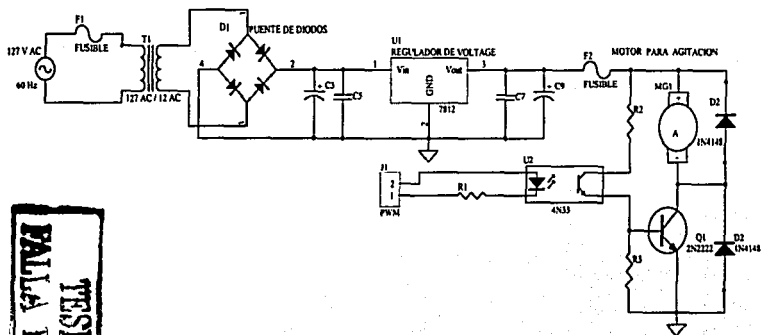
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

136



Terc		
REFRIGERACION		
Size	Number	Revision
Letter		
Drawn	11-Aug-2003	Sheet of
File	C:\M4\gpoemre\TESS DBO\Carrocer\Bm448r	

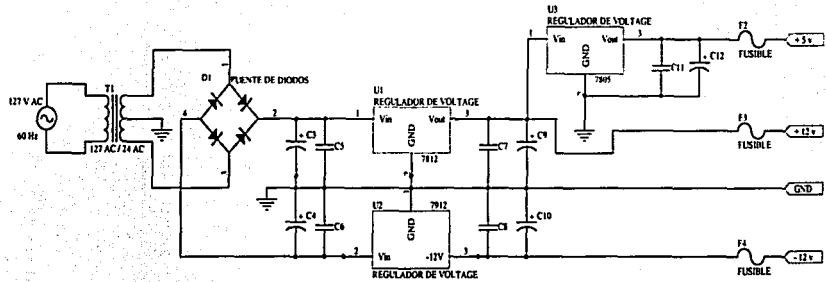




**TESIS CON  
 VALIA DE ORIGEN**

**137**

Título		
<b>FUENTE DE ALIMENTACION PARA EL MOTOR</b>		
Sim	Numero	Revision
Linea		
Diseño		Sheet of
Fecha		Drawn by
C:\Mea\documentos\TESIS D80\Cervatos\137.mdb		



138

Título		
FUENTE DE ALIMENTACION GENERAL		
Auto:	Numero:	Revision:
Letra:		
Fecha:	18-Aug-2003	Sheet of
File:	C:\Min documentos\TESIS DBO\Circuitos\138.dbr	

---

---

APÉNDICE C

LISTADO DEL PROGRAMA  
DEL MICROCONTROLADOR

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

```

*****
** FACULTAD DE INGENIERIA **
** PROYECTO TESIS: SISTEMA PARA **
** LA DETERMINACION DE LA DEMANDA **
** BIOQUIMICA DE OXIGENO **
** DISEÑO DEL "SIDDEBIOX" **
*****

```

```

pouta equ $00
baud equ $2b
scer1 equ $2c
scer2 equ $2d
scsr equ $2e
scdr equ $2f
tope equ $a0 :$c8
offset equ $00c8
inbuf equ $011b :$c000 para la final 709 localidades
topbuf equ $03e0 :$c000 para la final
dirbp equ $1000
pwm equ $0102
apuntbuf equ $010a :y la $010b
dho equ $010c :y la $010d
dho10m equ $010c
dbomil equ $010f
dho100 equ $0110
dho10 equ $0111
dbouni equ $0112
numdat equ $0113 :y la $0114
contpwm1 equ $0115
ct1 equ $0116
parahor equ $0117 :y $0118
parbhor equ $0119 :y $011a

org $c000
ldaa #$c0 :habilita pin 5 como salida del puerto A
staa $1001
ldx #$1000
bset $09,x,$10 :habilita pin 3 y 4 como salida del puerto D
bset $09,x,$08
bset $08,x,$10 :pone a cero pin 3 y 4 como del puerto D
bset $08,x,$08
ldaa #$30 :configuración del sci
staa $102b :velocidad de transmisión
ldaa #$2c
staa $102d :habilitar Tx y Rx e interrupcion del sci
ldaa #$00
staa $102c :un bit de inicio, 1 de paro, 8 de datos
ldaa #$7e :configuracion del seudo vector
staa $c4
ldx #sci :de interrupcion por sci
stx $c5
ldaa #$7e
staa $ee :indica el seudo vector de interrupcion irq
ldx #irq :indica la etiqueta para la rutina de servicio
stx $ef :de la interrupcion
ldaa #$7E :indica el seudo vector de
staa $DC :interrupcion por timer
ldx #SERV_OC :indica la etiqueta para la rutina de
stx $DD :servicio de la interrupcion

```

\$include "d:Tesis\programas\df11\_ex.asm"

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

```

micro:  ldaa #S01      ;Habilita la bandera de precalentamiento
        staa S0108
        ldaa #S80  ;describe "temperatura"
        ldx #temp
        jsr copiadis
        ldaa #S8d  ;describe " ° "
        jsr escom
        ldaa #Sdf
        jsr escdat

borra:  jsr borreg

        ldaa #Sc7  ;describe valor de temperatura
        jsr escom
        jsr tecla
        cmpa #S39
        bhi borra
        staa S0100 ;guarda el primer digito de temperatura
        jsr escdat
        jsr tecla
        cmpa #S39
        bhi borra
        staa S0101 ;guarda el segundo digito de temperatura
        jsr escdat

agita:  jsr tecla  ;espera tecla de borrado
        cmpa #S3e
        beq borra
        cmpa #S3a
        bne agita
        ldaa #S80  ;describe "agitacion"
        ldx #agt
        jsr copiadis

reagt:  jsr borreg  ;describe los modos de agitacion
        jsr tecla
        cmpa #S3D
        bne agtx
        staa pwm
        ldaa #Sc0
        ldx #noagt
        jsr copiadis
        bra borragt
        cmpa #S31
        bne agty
        staa pwm
        ldaa #Sc0
        ldx #agtlq
        jsr copiadis
        bra borragt
        cmpa #S32
        bne reagt
        staa pwm
        ldaa #Sc0
        ldx #agtsol
        jsr copiadis
        jsr tecla ;espera tecla de borrado
        cmpa #S3e
        beq reagt ;si no espera enter
        cmpa #S3a
        bne borragt
        ldaa #S80  ;describe " SIDDEBIOX "
        ldx #bien
        jsr copiadis
        ldaa #Sc0
        ldx #pres ;describe "PRESIONA INICIO"
    
```

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

```

in:      jsr copiadis
        jsr tecla
        cmpa #$3a
        bne in
        jmp inid
*
inid:    ldx #inbuf
        stx apunbuf
limpia:  clr $00,x
        inx
        cpx #topbufp
        bne limpia
        ldaa #$40
        staa $1022
        staa $1023
        ldx #$0000
        stx parahor
        stx parbhor
        clr $010c
        clr $010d
        clr contpwm1
        clr db010m
        clr db0mil
        clr db0100
        clr db010
        clr db0uni
        ldaa $0102
        cmpa #$31
        bne solido
        ldab #$19
        stab ct1
        bra tempe
solido:  cmpa #$32
        bne sinagit
        ldab #$20
        stab ct1
        bra tempe
sinagit: ldab #$00
        stab ct1
tempe:   ldaa #$80
        staa $1039
conver:  ldaa #$00
        staa $1030
        ldaa $1000
        anda #$0f
        cmpa #$0c
        bne conti
        jmp detener
conti:   brcrl $30,x,$80,sigue
sigue:  ldaa $1031
        ldab #$c4
        mul
        ldx #$2710
        idiv
        xgdx
        stab $0104
        xgdx
        ldx #$03e8
        idiv
        xgdx
        stab $0105
        xgdx
        ;espera tecla de inicio
        ;empieza con el programa para
        ;determinar la temperatura
        ;carga en x la dir donde empiezan los conteos
        ;guarda esta direccion en apunbuf
        ;inicia el borrado de todas las dir de memoria
        ;desde la $c000 hasta la $ffff
        ;inicializa la interr. al modificar las banderas
        ;oc2i<---1
        ;oc2f<--0
        ;contadores de 32 bits en cero
        ;borra los contadores
        ;cargamos el dato de agitacion
        ;comparo el dato de liquidos
        ;con 1a y con offset de $9f da 61.728 hz
        ;ct1 para 19.11% en pwm
        ;comparo el dato de liquidos
        ;con 20 y con offset de $9f da 61.728 hz
        ;ct1 para 19.75% en pwm
        ;con 00 y con offset de $9f da 0.0 hz
        ;ct1 para 0% en pwm
        ;inicializa la conversion A/D
        ;inicializa el registro adctl con ADO en portE
        ;comprueba si hay tecla pulsada
        ;compara si fue la tecla de detener
        ;si no, continua
        ;salta a subrutina de detener
        ;espera a que termine la conversion
        ;obtiene el valor de conversion
        ;obtencion de valor en decimal
        ;divide por 10,000
        ;en x esta el entero y en d el decimal
        ;en 0104 se guarda el primer entero
        ;divide por 1,000
        ;en 0105 se guarda el segundo entero
    
```

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

```

ldx #50064      ;divide por 100
idiv
sgdx
stab $0106      ;en 0106 se guarda el primer decimal
sgdx
ldx #5000a      ;divide por 10
idiv
sgdx
stab $0107      ;en 0107 se guarda el segundo decimal
ldaa #580       ;escribe "temperatura"
ldx #templ
jsr copiadis
ldaa #588
jsr escom
ldaa $0104      ;con dos enteros y dos decimales
ldab #530
aba
jsr escdat
ldaa $0105
ldab #530
aba
jsr escdat
ldaa #52e
jsr escdat
ldaa $0106
ldab #530
aba
jsr escdat
ldaa $0107
ldab #530
aba
jsr escdat
ldaa #520
jsr escdat
ldaa #5df
jsr escdat
ldaa #543
jsr escdat
ldaa $0100      ;tomamos el valor de temperatura, primer digito
suba #530       ;convertimos a hexa
ldab #50a       ;multiplicamos por 10
mul
ldaa $0101      ;tomamos el valor de temperatura, segundo digito
suba #530       ;convertimos a hexa
aba            ;sumamos los datos
staa $0103      ;conserva el valor de temperatura en la $0103
ldaa $0104      ;con dos digitos enteros
ldab #50a       ;valor medido de temperatura, 1er digito
mul
ldaa $0105      ;valor de temperatura medido, 2do digito
aba
staa $0109
cmpa $0103      ;husear direccion vacia, valor de temperatura medido
bhi enfr       ;comparo temperatura medida con deseada
cmpa $0103      ;si es mayor enfrio y me salgo
blo menuo
ldaa $0106
cmpa #505      ;si es igual comparo el decimal con 5
blo neutro     ;si es menor me salgo del control
bra enfr
menuo:         ldaa $0109
              suba #501
    
```

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

```

empa $0103      :comparo con temperatura medida
bne cali        :si no son iguales caliente
ldaa $0106
empa #505       :si es igual comparo el decimal con 5
bhi neutro     :si es mayor me salgo del control
                :si no caliente
cali:           ldx #$1000
                bset $08,x,$08
                bclr $08,x,$10      :pongo un 1 el pin 4 de port D para calentar
                jmp preca
enfri:         ldx #$1000
                bset $08,x,$10
                bclr $08,x,$08     :pongo un 1 el pin 3 de port D para enfriar
                jmp preca
neutro:        ldx #$1000
                bset $08,x,$08
                bset $08,x,$10
preca:         ldab $0108
                empb #501
                bne dbo2
                ldaa $0104
                ldab #50a
                mul
                ldaa $0105
                aba
                empa $0103
                beq bandera
                ldaa #5c0
                ldx #precal
                jsr copiadis
                pshx
die:           ldx #$ffff
                nop
                dex
                bne die
                pulx
                jsr borreg
                pshx
                ldx #$ffff
eid:           nop
                dex
                bne eid
                pulx
                jmp conver
bandera:       CLI
                :permite las interrupciones
                ldab #500
                stab $0108
                bra dbo2
dbo2:         ldy #$ffff
con:          dey
                bne con
                ldy #$ffff
                ldy #$ffff
cop:          dey
                bne cop
                ldy #$ffff
                ldy #$ffff
cod:          dey
                bne cod
                ldy #$ffff
                ldaa #5c0
                ldx #escdbo
                jsr copiadis
                :escribe "DBO: mg/l"

```

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



```

ldaa #5c5
jsr escom
ldaa $010c      :describe el valor de dbo desde c5
ldab #$30      :con 5 digitos
aba
jsr escdat
ldaa $010f
ldab #$30
aba
jsr escdat
ldaa $0110
ldab #$30
aba
jsr escdat
ldaa $0111
ldab #$30
aba
jsr escdat
ldaa $0112
ldab #$30
aba
jsr escdat
ldd $010e      :obtiene el valor de la DBO
ldx #$2710     :divide por 10,000
ldiv           :en x esta el entero y en d el decimal
xgdx
stab $010e     :en 03d0 se guarda el primer digito
xgdx
ldx #$03e8     :divide por 1,000
ldiv           :en 03d1 se guarda el segundo digito
xgdx
stab $010f     :divide por 100
ldx #$0064
ldiv           :en 03d2 se guarda el tercer digito
xgdx
stab $0110     :divide por 10
xgdx
ldx #$000a
ldiv           :en 03d4 se guarda el quinto digito
stab $0112     :en 03d3 se guarda el cuarto digito
xgdx
stab $0111
jmp conver
detener:
sei            :inhibir las interrupciones
det:          ldaa #$80
              ldx #continua
              jsr copiadis
              ldaa #5c0
              ldx #reinicio
              jsr copiadis
              pshx
              ldx #$ffff
a:           nop
              dex
              bne a
              pulx
              jsr borreg
              pshx
              ldx #$ffff
b:           nop
              dex
              bne b
    
```

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

```

    pulx
    ldaa $1000
    anda #50f
    cmpa #50d           ;compara si fue la tecla de continuar
    beq cont
    ldaa $1000
    anda #50f
    cmpa #50e           ;si no, comprueba si fue reinicio
    beq rein           ;si es así, salta al inicio
    bra det           ;si no, espera alguna de las dos teclas
    ;si es continuar, salgo de la interrupcion
cont:
    jmp conti
rein:
    jmp inicio
SERV_OC:
    ldd $1018           ;cargamos el valor del registro del timer toe2
    addd #offset       ;se le adiciona un offset
    std $1018
    ldaa #540           ;se pone un uno en la bandera de timer
    staa $1023
    ldx #dirhp         ;cargamos x con $1000
    inc contpwm1       ;se incrementa contador 1
    ldaa contpwm1
    cmpa ct1           ;comparamos el cont 1 con el valor de prueba
    bhi pwm1_1         ;salta si es mayor
    bset porta,x,$80   ;si no pone un 1 en pin 7
    bra contop
pwm1_1:
    bclr porta,x,$80   ;si no pone un 0 en pin 7
contop:
    cmpa #tope
    bne saleint
    clr contpwm1
saleint:
    ldy parbhor
    iny
    sty parbhor
    bne comp
    ldy parahor
    iny
    sty parahor
comp:
    ldy parahor
    epy #50225         ;$50009
    bne FIN_SERV_OC
    ldy parbhor
    epy #55100         ;$527c0
    bne FIN_SERV_OC
    ldy #50000         ;si registro de minutos es igual a 60
    sty parahor
    sty parbhor
    ldx apunbuf
    ;incrementa apuntador apunbuf
    inx
    stx apunbuf
FIN_SERV_OC:
    rti
irq:
    ldy apunbuf
    inc $00,y
    ldy dho
    ;y apunta a la loca. de cuentas
    ;y apunta a la loca. de la DBO acumulada
    iny
    sty $010c
    ldy #ffff
    ;y la $010d
var:
    dey
    bne var
    rti
sci:
    ldy #51000
    brset scsr,y,$80,recibir ;si a recibido un caracter salta a recibir
    rti
recibir:
    ldaa $102e
    ldaa $102f

```

```

cmpa #541      ;compara dato recibido con A
bne numdato   ;si no es salta a leer car
ldaa $0100    ;tomamos el valor de temperatura, primer digito
suba #530
bfr enviar
ldaa $0101    ;tomamos el valor de temperatura, segundo digito
suba #530
bfr enviar
rti

numdato: cmpa #542      ;compara dato recibido con A
bne leer_car        ;si no es salta a leer car
*                   ;si es A comienza enviando la cantidad de datos
ldd apunbuf
subd #5011a        ;#$bfff
std numdat         ;acumulador A en $0113 Y B en $0114
ldaa $0113         ;carga a con la parte alta de numdat
bfr enviar
ldaa $0114         ;carga b con la parte baja de numdat
bfr enviar
rti

leer_car: cmpa #543      ;compara dato recibido con B
bne fin          ;si no es a sale de la interrupcion
*                   ;si es B comienza enviar todos los datos
ldx #inbuf
ldaa $00,x
bfr enviar
inx
cpx apunbuf       ;comparo con el fin de los datos
bhi fin           ;salta si es mayor
bra bucle         ;si no continua enviando
enviar: nop
t: brelr scsr,y,$80,t
staa $102f
rts

fin: rti
tecla: ldx #51000    ;subrutina de lectura de tecla
bclr porta,x,$20
bset porta,x,$20
lazo: ldaa $1000
anda #510
beq lazo
ldaa $1000        ;convierte a ascii
anda #50f
ldab #530
aba
rts

borreg ldaa #5c0     ;subrutina para borrado de renglon
ldx #borren
jsr copiadis     ;escribe " "
rts

borren fcc " "
temp: fcc " TEMPERATURA C "
agt: fcc " AGITACION "
noagt: fcc " SIN AGITACION "
agthq: fcc " AGITA LIQUIDOS "
agtsol: fcc " AGITA SOLIDOS "
bien: fcc " SIDDEBIOX "
pres: fcc "PRESIONA INICIO"
precal: fcc "PRECALENTAMIENTO"
continua: fcc "PRESS. CONTINUAR"
reinicio: fcc "PRESS. REINICIO"
temp1: fcc "TEMP: "
esclbo: fcc "DBO: mg/l "

```

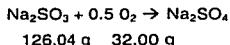
---

---

APÉNDICE D  
CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

## CALIBRACIÓN DEL EQUIPO SIDDEBIOX CON SULFITO DE SODIO

Para la calibración y/o verificación del buen funcionamiento del equipo se puede utilizar el método de oxidación de sulfito de sodio a sulfato de sodio. Se lleva a cabo un consumo definido de oxígeno, de acuerdo con la estequiometría de la reacción:



El sulfito de sodio es secado durante 15 minutos a 105°C para evitar la obtención de resultados erróneos. Se prepara una solución conteniendo 393.875 mg de  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  por cada 250 ml de solución amortiguadora de fosfatos ( $\text{HPO}_4^{2-}/\text{PO}_4^{3-}$ ) 0.1 M a pH 7.0. Esta cantidad corresponde a un consumo de 50 mg de oxígeno. Se monta el sistema y se mantiene en operación durante aproximadamente 12 horas, tiempo en que se lleva a cabo la reacción. Al pasar este tiempo el Siddebiox debe marcar aproximadamente 200 unidades. Para determinar la concentración de la solución puede utilizarse una técnica volumétrica con tiosulfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) 0.025 M y yoduro de potasio (KI). Se titula el yodo liberado con el tiosulfato, añadiendo almidón como indicador. La solución se titula hasta color paja pálido, se añaden unas gotas de solución de almidón para continuar valorando hasta la primera desaparición del color azul. La desviación aceptable de los valores es de 200 +/- 4%.

## Reactivos requeridos y pasos previos al montaje de la prueba

## a) Preparación de las celdas electrolíticas

Solución compuesta de 2050 g de sulfato de cobre pentahidratado ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) en 7.5 L de agua destilada. Agregar 200 mL de ácido sulfúrico concentrado ( $\text{H}_2\text{S}_4$ ). Llenar con esta solución los matraces generadores de oxígeno.

1. Quitar el tapón junto con el cátodo de cobre y el cilindro de vidrio.
2. Llenar el matraz Erlenmeyer con la solución de sulfato de cobre hasta aproximadamente 5 cm del cuello del matraz.
3. Insertar el tapón en el matraz lleno y cerrar perfectamente.
4. Introducir las 2 mangueras en las conexiones correspondientes.
5. Girar el tubo de plexiglás 4 o 5 veces.
6. Usar una jeringa para llenar con solución de sulfato de cobre a través de una de las mangueras hasta que el nivel de solución en el tubo de plexiglás alcance 1 cm sobre el borde del tapón. Agitar para permitir el escape del aire atrapado.
7. Regresar el tubo de plexiglás a su posición original.

8. Permitir el flujo de la solución de sulfato de cobre fuera del cilindro de vidrio y llenarlo por medio de la manguera con solución de ácido sulfúrico al 5% hasta que el electrodo de platino esté completamente inmerso.

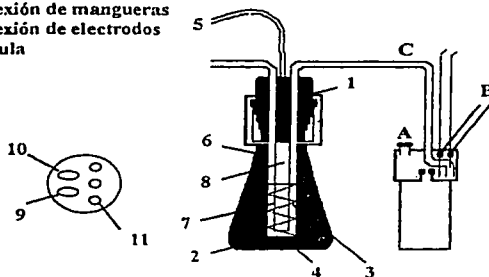
b) Preparación del indicador de presión

Elaborar una solución de ácido sulfúrico al 0.5% mezclada con una solución de anaranjado de metilo como indicador de pH para controlar el nivel existente con mayor facilidad. Para incorporar el volumen correspondiente a cada indicador de presión.

1. Abrir la válvula de rosca.
2. Llenar con solución de ácido sulfúrico al 0.5% y unas gotas de anaranjado de metilo hasta que el electrodo de platino corto quede inmerso de 2-3 mm.
3. Cerrar la válvula de rosca.

Colocar el generador de oxígeno y el indicador de presión dentro del baño de agua previamente llenado con 9.8 L de agua desmineralizada. Conectar los cables al indicador de presión y al generador de oxígeno.

1. Tapón
2. Matraz erlenmeyer
3. Cátodo de cobre
4. Solución de sulfato de cobre
5. Tubo de Plexiglass
6. Cilindro de vidrio
7. Ácido sulfúrico al 5%
8. Anódo de platino
9. Conexión de mangueras
10. Conexión de electrodos
11. Válvula



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

- A. Válvula de rosca  
B. Electrodo de platino  
C. Tubo ascendente