

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.

ESCUELA DE INGENIERÍA

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CONTROL ELECTRÓNICO MICROPROCESADO DE
CALENTAMIENTO DE AGUA PARA PISCINA.**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
ELECTRÓNICO.**

CARLOS JAIME BENJAMÍN AVILÉS MEJÍA.

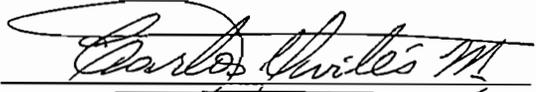
DIRECTOR: ING. OSWALDO BUITRÓN

Quito, 21 de Diciembre de 2001

DECLARACIÓN.

Yo, Carlos Jaime Benjamín Avilés Mejía, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

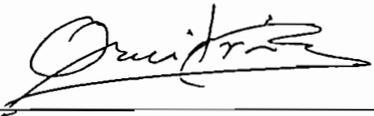
A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.



Carlos Jaime Benjamín Avilés Mejía.

CERTIFICACIÓN.

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Carlos Jaime Benjamín Avilés Mejía, bajo mi supervisión.



Ing. Oswaldo Buitrón.
DIRECTOR DEL PROYECTO.

AGRADECIMIENTO.

A todas y cada una de las personas que hicieron posible la realización y culminación del presente Proyecto de Titulación, en especial al Ing. Marcelo Guarderas por su valiosa colaboración y al Ing. Oswaldo Buitrón por su acertada dirección del Proyecto.

DEDICATORIA.

A mis padres, Jaime y Marina.

A mi esposa e hijos Rosa, Karla y Nicolás.

A aquellos que inyectaron fe y optimismo a mi espíritu, este trabajo les pertenece.

CONTENIDO

CARATULA.....	i
DECLARACIÓN.....	ii
CERTIFICACIÓN.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
DEDICATORIA.....	v
RESUMEN	1
PRESENTACIÓN.....	3
INTRODUCCIÓN	3
OBJETIVOS.....	3
a) Objetivo General	3
b) Objetivos Específicos.....	4
ALCANCE.....	4
CAPÍTULO 1 ASPECTOS GENERALES	6
1.1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	6
1.1.1 FUENTES DE ENERGÍA.....	6
1.1.2 FORMAS DE CAPTACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR.....	7
1.1.3 APLICACIONES Y USOS DE LA ENERGÍA SOLAR.....	8
1.1.3.1 Aplicaciones de los Sistemas Pasivos.....	8
1.1.3.2 Aplicaciones de los Sistemas Activos.....	8
1.1.3 LA ENERGÍA SOLAR EN EL ECUADOR. ANÁLISIS SOLAR POR REGIONES.	9
1.1.5 FORMAS DE TRANSMISIÓN DEL CALOR	10
1.1.5.1 Transmisión del calor por convección.	10
1.1.5.2 Transmisión del calor por conducción.....	10
1.1.5.3 Transmisión del calor por radiación	12
1.1.5.4 Leyes de la radiación del calor.....	13
1.2 CALENTAMIENTO SOLAR DE AGUA	14

1.2.1 RANGOS DE TEMPERATURA DEL AGUA EN PISCINAS TEMPERADAS DE RECREACIÓN, PISCINAS DE COMPETENCIA O BALNEARIOS	15
1.2.2 FORMAS UTILIZADAS PARA CALENTAR EL AGUA DE PISCINAS EN NUESTRO PAÍS.....	15
1.3 EFICIENCIA DE LOS CALENTADORES ACTUALES.....	16
1.3.1 SISTEMA DE ALMACENAMIENTO.....	21
1.4 DESPERDICIOS DE ENERGÍA EN EL PROCESO MANUAL DE CALENTAMIENTO	22
1.5 FORMAS DE MEJORAR EL PROCESO DE CALENTAMIENTO	24
1.5.1 AUMENTO DE LA ENERGÍA SOLAR ASIMILADA.....	24
1.5.2 MEJORA EN EL ALMACENAMIENTO DE LA ENERGIA	25
1.5.3 MEJORA EN EL SISTEMA DE CIRCULACIÓN O DISTRIBUCIÓN TÉRMICA DEL AGUA CALIENTE	25
1.5.4 MEJORA EN EL SISTEMA DE CONTROL	26
1.6 SOLUCIÓN AL PROBLEMA	26

CAPITULO 2 ESPECIFICACIONES Y DISEÑO CIRCUITAL.	27
INTRODUCCIÓN	27
2.1 REQUERIMIENTOS Y ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA....	27
2.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CIRCUITO.....	28
2.3 DISEÑO DE LAS ETAPAS DEL CIRCUITO	31
2.3.1 CIRCUITO DE REFERENCIA	31
2.3.2 CIRCUITO DE MEDICIÓN	32
2.3.3 CIRCUITO DE CONMUTACIÓN.....	33
2.3.4 CIRCUITO DE AMPLIFICACIÓN.....	34
2.3.5 CONVERTOR ANALÓGICO DIGITAL	35
2.3.6 MICROCONTROLADOR	38
2.3.7 DISPLAY	40

2.3.8 CONTROL DE SALIDA.....	40
2.3.9 FUENTE DE PODER.....	40
2.4 CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO.....	41
2.4.1 CIRCUITO.....	41
2.4.2 ENSAMBLAJE DE LOS ELEMENTOS.....	41
2.4.3 CHASIS.....	41
2.4.4 CABLES EXTERNOS.....	42
2.4.5 PLACAS DE IDENTIFICACIÓN.....	42
2.4.6 VISTAS DEL PROTOTIPO.....	43
2.5 RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS.....	46

CAPITULO 3 DISEÑO DEL PROGRAMA DE CONTROL Y

RESULTADOS EXPERIMENTALES.....	48
3.1 DIAGRAMA DE FLUJO Y DESARROLLO DEL PROGRAMA ...	48
PRINCIPAL.....	48
3.2 SUBROUTINAS.....	51
3.2.1 RUTINA DE OPERACIÓN PERMANENTE.....	51
3.2.2 RUTINA PARA LEER DATOS DE ENTRADAS ANALÓGICAS.....	53
3.2.3 RUTINA DE INICIALIZACIÓN TEMPORIZADA DEL DISPLAY.....	54
3.2.4 ÁREA DE DEFINICIÓN DE MENSAJES FIJOS PARA EL DISPLAY.....	55
3.3 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES.....	56
3.3.1 MODELO DE SIMULACIÓN PARA PROBAR EL PROTOTIPO EN LABORATORIO.....	56
3.3.2 LIMITACIONES DE LA SIMULACIÓN.....	63
3.3.3 FORMA DE OPERACIÓN.....	64
3.3.4 PRUEBAS REALIZADAS.....	64

CAPÍTULO 4 ANÁLISIS ECONÓMICO, CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES.....	66
----------------------	----

4.1 ANÁLISIS ECONÓMICO	66
4.1.1 COSTOS	66
4.1.1.1 Costos de elementos electrónicos	66
4.1.1.2 Costos de accesorios	67
4.1.1.3 Costos de investigación y desarrollo.....	67
4.1.2 BENEFICIOS.....	67
4.2 CONCLUSIONES DEL TRABAJO DESARROLLADO	68
4.3 RECOMENDACIONES.....	69
BIBLIOGRAFÍA	71
ANEXO A: Programa para control de sistema de bomba de piscina con calentamiento solar	72
ANEXO B: MANUAL DE USO DEL EQUIPO	91
INSTALACIÓN	91
PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN.....	92
ANEXO C: HOJAS DE DATOS	94

natural mediante su uso eficaz y un alto rendimiento operativo de equipos instalados existentes, permitiendo una optimización en beneficio de los usuarios.

En el desarrollo del proyecto, el primer capítulo introduce los aspectos generales de justificación teórica y el inicio de la confrontación del problema planteado, en su parte práctica.

El segundo capítulo enfoca el proyecto con sus características o especificaciones y señala recomendaciones constructivas para desarrollar el prototipo.

El tercer capítulo trata del diseño del programa de control y de los resultados experimentales.

En el último capítulo se desarrolla el análisis económico, se sacan conclusiones y se establecen recomendaciones.

PRESENTACIÓN

INTRODUCCIÓN

El propósito de conseguir un equipo de control automático que se aplique al uso de la energía calórica del sol, almacenada en paneles solares con circulación de agua para el calentamiento del agua de una piscina, es aprovechar al máximo la energía solar haciendo más eficientes a los equipos de calentamiento.

Dependiendo de los rayos infrarrojos que produce diariamente el sol y que inciden en la superficie terrestre, se puede lograr recoger la energía calórica necesaria en paneles solares contruidos para el efecto. Con la energía almacenada se puede calentar el agua contenida en una serie de tubos de cobre ubicados bajo los paneles solares.

La temperatura del agua varía con pendientes diferentes a lo largo del día y por tanto es necesario hacer circular el agua desde los paneles solares hacia la piscina y de ésta hacia los paneles para ir calentándola gradualmente.

Con la ayuda de sensores de temperatura y el accionamiento automático de una bomba, se puede optimizar la operación, bombeando el agua cuando exista una diferencia de temperatura preestablecida, entre el agua que está en el calentador solar y la que está en la piscina.

OBJETIVOS

a) Objetivo General

El objetivo es aprovechar al máximo la transferencia de energía solar al agua de la piscina y gastar la menor cantidad de energía eléctrica en el accionamiento de la bomba.

Para lograr este objetivo, se ha diseñado un equipo de control constituido por un sistema electrónico microcontrolado, basado en un circuito microcontrolador, de la familia MCS-51 y por tanto, con un programa autocontenido, más los dispositivos electrónicos acoplados al mismo, para optimizar el calentamiento de agua de piscinas en equipos instalados, con el fin de que sean más eficientes en beneficio de los usuarios.

b) Objetivos Específicos

b.1. Estudiar y diseñar un equipo de control constituido por un sistema electrónico microcontrolado que compare la temperatura del agua en el calentador solar con la temperatura del agua en la piscina y si la diferencia entre ellas llega a un determinado valor, haga circular el agua de la piscina para ir la calentando mediante un proceso de incremento del calor del líquido sin desperdiciar energía.

b.2. Construir el equipo diseñado con programa autocontenido.

b.3. Aplicar los conocimientos adquiridos en Electrónica General y Electrónica Digital en la construcción del prototipo de equipos industrializables.

b.4. Realizar pruebas de operación mediante la aplicación de un programa y efectuar mediciones.

b.5. Obtener resultados y elaborar conclusiones que muestren la óptima utilización de la energía calórica y el ahorro de energía eléctrica aplicada.

ALCANCE

Este proyecto está destinado a servir a personas, entidades públicas y entidades privadas que posean en sus domicilios o en sus locales de prestación de servicios, piscinas de agua temperada y que al mismo tiempo puedan aprovechar el calor solar y ahorrar en sus equipos la energía eléctrica que sea necesaria en la

operación del sistema de calentamiento de agua. Sirve también para mejorar y optimizar el servicio de equipos que hayan estado previamente en funcionamiento.

CAPÍTULO 1

ASPECTOS GENERALES.

1.1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1.1 FUENTES DE ENERGÍA

Desde el aparecimiento del hombre sobre la tierra, la obtención de energía fue una necesidad importante en el logro de su supervivencia. En los primeros tiempos sólo dependía del sol y de la energía lograda por la combustión de la madera. Cuando se descubrió el carbón, alrededor del siglo XII, su uso a gran escala se inició con la explotación de las minas. Al comienzo se lo utilizó solo para producir calor. En la primera parte del siglo XVII, inicia la extracción del petróleo que junto al carbón acompaña el desarrollo industrial transformando el calor en energía mecánica y eléctrica. La tasa de consumo de combustibles fósiles ha tenido un incremento muy grande, lo que hace predecir el agotamiento total de las reservas mundiales en corto tiempo. Esto ha motivado la búsqueda permanente de fuentes alternativas de energía, convertibles económicamente en energía eléctrica, mecánica y térmica y el uso de fuentes existentes que todavía no se han desarrollado.

Algunas fuentes de energía alternas y/o existentes son: energía hidráulica, energía tidal o de las mareas que solo se encuentra aprovechada en pocos lugares, energía de la biomasa o de la materia orgánica, energía eólica o producida por la corriente de los vientos, energía magnética natural, energía de seres vivos, energía atómica producida por fisión nuclear, energía solar que considerando un diez por ciento de eficiencia, tiene un promedio de potencia estimada en veinticuatro vatios por metro cuadrado de superficie terrestre.

1.1.2 FORMAS DE CAPTACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR

La captación de energía solar en forma directa puede manifestarse como captación térmica o como captación fotónica.

La captación solar directa térmica puede hacerse de forma pasiva o de forma activa.

La captación solar directa térmica pasiva puede darse de dos maneras: como una captación estructural y como una captación con panel plano por convección natural. Esta captación solar térmica pasiva produce calor de baja temperatura.

La captación de la energía solar directa térmica activa puede efectuarse mediante colector fijo, por seguimiento sobre un eje o por seguimiento sobre dos ejes. En el de colector fijo hay dos modalidades, la de panel plano que da calor de baja temperatura y la de estanque solar que genera calor de alta temperatura. El desarrollo de seguimiento sobre un eje puede conseguir calor de media y alta temperatura. El proceso de seguimiento sobre dos ejes consigue calor de alta temperatura.

La captación solar de tipo fotónico puede ser una captación fotoquímica o una captación mediante celdas solares.

La captación directa de energía solar de tipo fotónico por captación fotoquímica puede ser mediante la biomasa o mediante la fotoquímica propiamente dicha. Ambos procesos liberan energía química.

La captación directa de energía solar de tipo fotónico mediante el uso de celdas solares puede realizarse en tierra o en el espacio. La captación terrestre con el uso de celdas solares puede ser de tipo fijo o con seguimiento.

La captación con celdas solares terrestres con seguimiento se divide en la forma de concentración con seguimiento sobre un eje y concentración con seguimiento

sobre dos ejes y en este último caso se obtiene la producción de energía eléctrica.

1.1.3 APLICACIONES Y USOS DE LA ENERGÍA SOLAR

La energía solar se la capta para calentar el aire, el agua, materiales expuestos y para transformarla en un tipo diferente de energía antes de que llegue a la superficie de la tierra.

Con la energía solar se puede producir calor ambiental o climatización, calentamiento de agua, secado, desalinización, energía mecánica manifestado en el movimiento de motores, energía eléctrica por aplicación fotovoltaica, energía química por proceso de fotosíntesis, entre otros.

1.1.3.1 Aplicaciones de los Sistemas Pasivos

Se aprovecha el efecto invernadero para la climatización de edificios, esto se conoce como diseño bioclimático; el secado directo de productos y la desalinización del agua, la ventilación natural aprovechando el efecto Venturi en las cubiertas, la construcción de chimeneas solares.

1.1.3.2 Aplicaciones de los Sistemas Activos.

Requieren de una mayor inversión inicial y poco mantenimiento, su vida útil depende del diseño, la calidad de los materiales y el tipo de instalación. Estos sistemas se dividen en dos clases: térmicos, para aplicaciones de alta y baja temperatura y fotovoltaicos en alta y baja potencia.

Los sistemas térmicos aprovechan el calor del sol. Los sistemas térmicos de baja temperatura, menos de ochenta grados Celsius, utilizan placas colectoras planas y sirven para secado indirecto y calentamiento de agua. Los sistemas térmicos de alta temperatura, más de ochenta grados Celsius, utilizan concentradores y se usan para generación eléctrica y calentamiento de agua de uso industrial

Los sistemas fotovoltaicos aprovechan la luz del sol para generar electricidad mediante el uso de celdas fotovoltaicas. Los sistemas fotovoltaicos de baja potencia, menos de diez kilovatios, no utilizan concentradores y generan electricidad para bombeo, telecomunicaciones, refrigeración, iluminación. Los sistemas fotovoltaicos de alta potencia, más de diez kilovatios, pueden o no utilizar concentradores y se usan en redes de electrificación de comunidades.

Otras aplicaciones de la energía solar fotovoltaica se tienen en electrificación rural, sistemas domésticos solares rurales, iluminación de emergencia, telecomunicaciones, bombeo de agua, protección catódica, cargas eléctricas, señalización, radioayuda, aplicación marina y militar.

1.1.3 LA ENERGÍA SOLAR EN EL ECUADOR. ANÁLISIS SOLAR POR REGIONES.

Se puede afirmar que las zonas con radiaciones solares mayores o iguales a tres kilovatios hora por metro cuadrado por día, son favorables para aplicaciones térmicas. En el Ecuador, el promedio está en el orden de 3.98 kilovatios hora por metro cuadrado por día y por estar situado en el paralelo cero contamos con una radiación solar constante durante todo el año.

En el cuadro N° 1.1 se pueden observar los valores de radiación solar por regiones geográficas.

RADIACIÓN SOLAR SEGÚN LAS REGIONES GEOGRÁFICAS DEL ECUADOR.			
REGIÓN DEL ECUADOR	MÁXIMO Kwh/m ² /día	MÍNIMO Kwh/m ² /día	PROMEDIO Kwh/m ² /día.
INTERANDINA	4,8	4,4	4,5
LITORAL	4,2	3,2	3,5

AMAZÓNICA	4,2	3,5	3,8
GALÁPAGOS	5,9	4,7	5,2
PROMEDIO DEL PAÍS	3,98		

CUADRO Nº 1.1

1.1.5 FORMAS DE TRANSMISIÓN DEL CALOR

El calor pasa de los cuerpos de mayor temperatura a los de menor temperatura. Si dos cuerpos están a la misma temperatura no pasa calor del uno al otro.

El calor se transmite por una de las siguientes formas: por convección, por conducción y por radiación.

1.1.5.1 Transmisión del calor por convección.

Esta forma de transmisión del calor se produce cuando una masa caliente se transporta desplazando a una masa fría del mismo material, por lo general un gas. Un ejemplo de transmisión del calor por convección lo constituye el calentamiento de una habitación mediante una estufa colocada en el piso, calienta el aire que está en contacto con ella, que se eleva y es reemplazado por el aire frío de la parte superior.

1.1.5.2 Transmisión del calor por conducción.

En esta forma de transmisión, la energía calorífica pasa a través de un material como resultado de las colisiones entre las moléculas del mismo. Cuanto más caliente esté un material, mayor será la energía calorífica de sus moléculas. Cuando existe una diferencia de temperatura entre materiales que están en

contacto, las moléculas con mayor energía, en la sustancia que se encuentra más caliente, transferirán energía a las moléculas con menor energía en la sustancia más fría debido a las colisiones moleculares que ocurren entre las dos sustancias. Entonces la energía calorífica fluye de lo caliente a lo frío. Los problemas de conducción del calor son complejos, pero, examinando el caso sencillo de la transmisión del calor a través de un prisma, cuyas bases están cada una a temperatura constante, pero una distinta de la otra, la cantidad de calor que pasa a través del prisma desde la base caliente a la más fría depende de:

- a) La superficie de las bases en forma directamente proporcional.
- b) Del cociente entre la diferencia de temperatura de las bases por la distancia que las separa, lo que se conoce como gradiente de temperatura, también en forma directamente proporcional.
- c) La conductividad térmica del material en forma directamente proporcional.
- d) Tiempo de paso del calor en forma directamente proporcional.

Esto puede resumirse por la fórmula $Q = k.S.G.t$, donde:

Q = Cantidad de calor conducida (Julios)

S = Superficie transversal de las bases (m^2)

G = Gradiente de temperatura ($^{\circ}K/m$)

k = Conductividad térmica del material (wattios /($m^{\circ}K$))

t = tiempo de paso del calor (s)

Los factores de transformación para k, dada en unidades de medida diferentes al Sistema Internacional y que con más frecuencia se utilizan son:

$$1 \text{ cal / (s.cm.}^\circ\text{c)} = 418,4 \text{ W / (m }^\circ\text{K)} \text{ y } 1 \text{ Btu}\cdot\text{in / (h.ft}^2\text{.}^\circ\text{F)} = 0.144 \text{ W / (m }^\circ\text{K)}.$$

En la forma de transmisión del calor por conducción es interesante también conocer la resistencia térmica de una loza (o el prisma antes mencionado) que se define por la ecuación de flujo de calor:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{A\Delta t}{R}$$

Donde:

$$R = \frac{L}{k} \text{ y,}$$

L es la separación entre las superficies de diferente temperatura en el prisma.

Si tenemos varias lozas que están en contacto entre sí (combinación en serie) con la misma área en sus caras laterales, el valor R de la combinación estará dado por:

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

1.1.5.3 Transmisión del calor por radiación

Esta forma de transmisión del calor se da a través del vacío y del espacio libre entre moléculas. Es un fenómeno ondulatorio de ondas electromagnéticas, que su descubridor Herschel, denominó rayos infrarrojos. Esta es la forma en que nos llega el calor del sol. Todos los cuerpos, sea cual fuere su temperatura, transmiten calor por radiación.

1.1.5.4 Leyes de la radiación del calor

Todos los objetos irradian calor como hemos señalado, pero también lo absorben.

Poder emisivo: Esta constituido por la cantidad de calor que un cuerpo emite por cada centímetro cuadrado de su superficie en cada segundo.

Poder absorbente: Cuando sobre un cuerpo incide una radiación calórica, por lo general una parte de ella se refleja y vuelve al ambiente y la restante es absorbida por el cuerpo. Se llama poder absorbente "a" del cuerpo, al cociente entre la cantidad del calor absorbida y la cantidad de calor incidente.

Cuerpo negro: Es aquel cuyo poder absorbente es igual a uno. Es decir, que absorbe toda radiación que incide sobre él. En la naturaleza, no existe ningún cuerpo perfectamente negro, pero de forma aproximada se lo puede obtener recubriéndolo con una capa de pintura negra o mejor recubriéndolo de color negro el interior hueco de un cuerpo y dejando en él, un pequeño agujero, que se constituye en el mejor cuerpo negro que se puede obtener.

Ley de Stefan–Boltzmann: Señala que el poder emisivo del cuerpo negro es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta.

Si se trata de otro cuerpo, con superficie de área A y una temperatura absoluta T, en una región donde la temperatura es T₀ con una emisividad ε de la superficie, la energía calórica neta irradiada en un segundo por el cuerpo es:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \epsilon A \sigma (T^4 - T_0^4),$$

Donde:

ε = emisividad calórica de la superficie.

$\alpha = 5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$, es la constante de Stefan-Boltzmann.

Ley de Kirchhoff: Por cada temperatura absoluta, el poder emisor de energía calórica de un cuerpo es directamente proporcional a su poder absorbente y se expresa por la fórmula:

$$e = a \cdot \alpha \cdot T^4$$

1.2 CALENTAMIENTO SOLAR DE AGUA

El efecto térmico que produce la energía solar hace posible que el hombre lo utilice directamente mediante dispositivos artificiales para concentrarlo y hacerlo más intenso, transfiriéndolo hacia los fluidos que le interesan.

La energía solar interceptada por una superficie absorbente, hace aparecer el efecto térmico. Esto se puede conseguir sin mediación de elementos mecánicos, o sea de forma activa. Esta última, a su vez, se suele dividir en aplicación de baja temperatura, de mediana temperatura y de alta temperatura; según sea el tipo de seguimiento y que la captación sea de forma directa, de bajo índice de concentración o de alto índice de concentración, respectivamente.

La energía solar activa de baja temperatura es utilizada en aplicaciones de calentadores de agua para uso sanitario y en instalaciones para calentamiento de agua de piscinas. También, como se señaló, tiene otras aplicaciones como en invernaderos, secaderos, etc., que en el presente trabajo no van a ser analizados. La aplicación que interesa en este caso, es el calentamiento de agua para piscina. La energía solar puede ser utilizada para cualquier tipo de piscina, sea cubierta o descubierta.

Las piscinas descubiertas, de pequeñas dimensiones, que funcionan durante una época del año, pueden disponer en forma conveniente de una instalación sencilla compuesta por colectores de caucho tipo propileno funcionando sin acumulador y sin intercambiador.

Una piscina cubierta requiere de la existencia de un depósito acumulador e intercambiador, con colectores semejantes a los de agua sanitaria.

1.2.1 RANGOS DE TEMPERATURA DEL AGUA EN PISCINAS TEMPERADAS DE RECREACIÓN, PISCINAS DE COMPETENCIA O BALNEARIOS

Las piscinas de agua temperada son muy apetecidas por las personas para utilizarlas en los más diversos usos de beneficio humano. Se las usa en aplicaciones médicas, recreación, entrenamiento deportivo, competencias o por costumbre. Existen piscinas de agua temperada de origen natural, que es un recurso que se encuentra en muchas partes de nuestro país y existen piscinas de agua temperada, artificialmente calentadas por diversos medios y tecnologías. En la actualidad, se aprovecha mucho del calor solar para este calentamiento del agua de la piscina.

El rango de temperatura aceptada en piscinas de agua temperada se inicia en alrededor de 18 °C y cubre un intervalo tolerable para el cuerpo humano, que va hasta los 40 °C.

1.2.2 FORMAS UTILIZADAS PARA CALENTAR EL AGUA DE PISCINAS EN NUESTRO PAÍS

El Ecuador debido a su riqueza natural ha tenido en sus habitantes, cultores natos del agua temperada en sus baños, esto ha generado que en forma extensa se utilicen servicios de piscinas de agua temperada, también obtenida mediante el uso de diversas tecnologías.

La temperatura de ebullición del agua es de 100 °C, la temperatura promedio del cuerpo humano de una persona viva es de 37 °C. Por razones de las distancias entre el sitio de calentamiento y la piscina, el material de las instalaciones y otros factores, el agua calentada llega a la piscina a la temperatura adecuada para uso humano o previamente se regula la temperatura de modo que se la obtenga en el valor de calor requerido.

Los servicios que para este objetivo se tienen en el país muestran métodos artesanales como calentamientos con fogones o tanques grandes de agua, mediante leña o carbón, métodos de calentamiento de agua en calderos controlados en su temperatura, métodos mediante tuberías diseñadas como serpentines rodeados de resistencias calentadas eléctricamente, métodos con tanques de agua calentada eléctricamente y los sistemas de calentamiento por aprovechamiento de la energía solar.

1.3 EFICIENCIA DE LOS CALENTADORES ACTUALES

Un gran esfuerzo térmico se ha puesto alrededor de obtener el menor desperdicio de la energía solar asimilada para calentamiento de agua, reduciendo mucho las pérdidas caloríficas y mejorando la eficiencia de los calentadores.

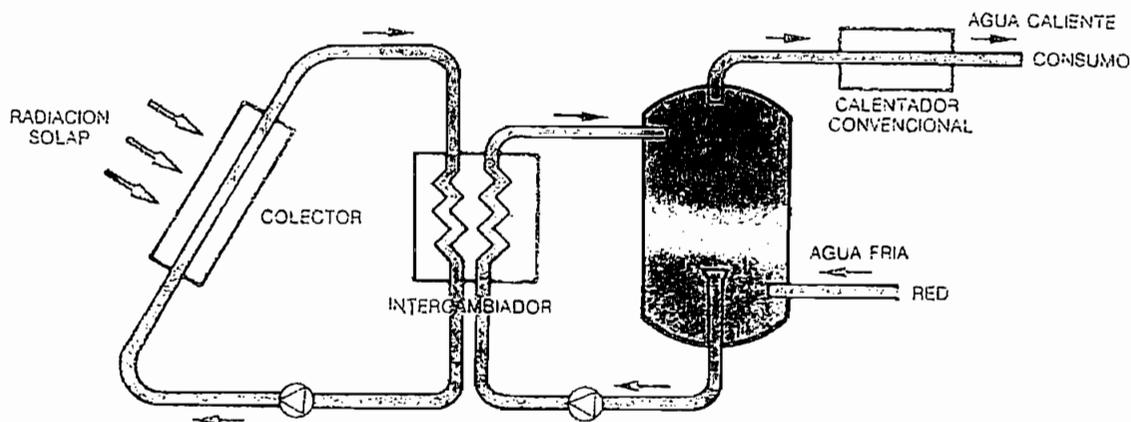


Figura N° 1.1 Esquema básico de una instalación solar de baja temperatura

Un esquema básico de una instalación de baja temperatura es el que se muestra en la figura N° 1.1, en la que se puede observar que la radiación solar se percibe a través del colector solar. Para efectos de una instalación de baja temperatura se utilizan colectores tipo placa plana.

En la figura N° 1.2 se muestra un diagrama esquemático de la sección transversal de un colector plano típico. Sus características esenciales son las de una superficie absorbente ennegrecida, cubierta por una o más hojas transparentes a la radiación solar incidente de onda corta. Estas hojas reducen enormemente las pérdidas térmicas debidas a la conducción y convección del aire y en el caso del vidrio y de ciertos plásticos, pueden ser opacas a la energía infrarroja reradiada de onda más larga.

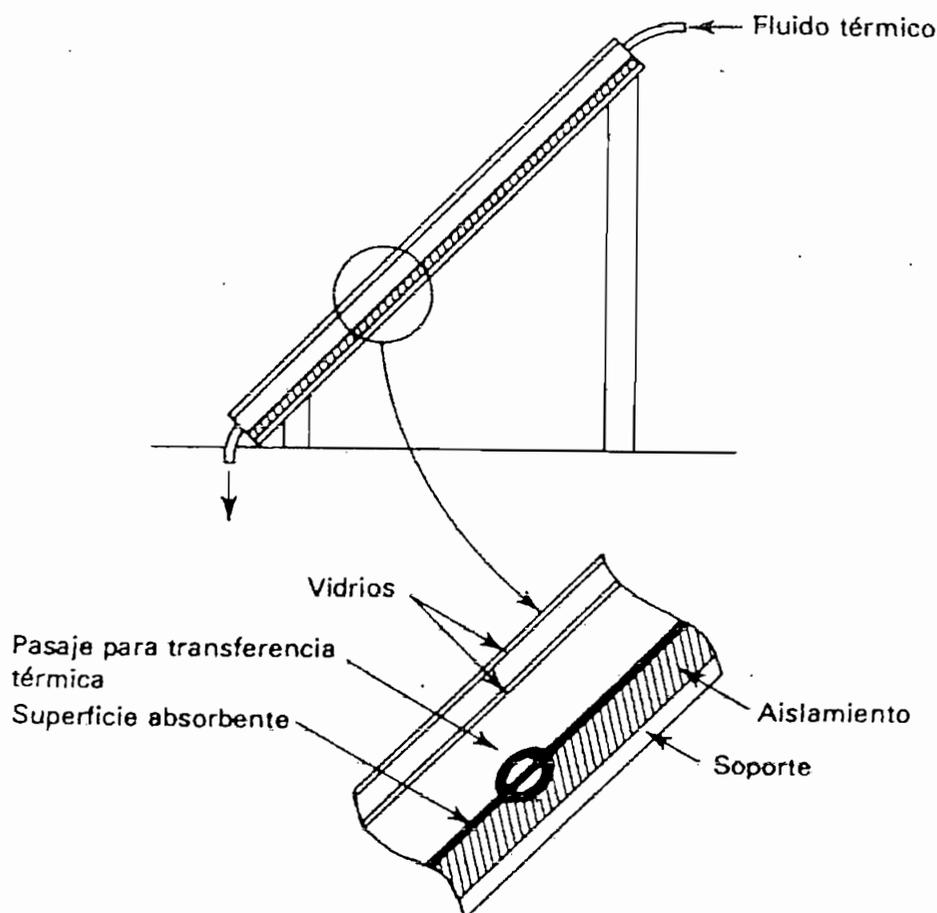


Figura N° 1.2 Colector solar plano

El fluido de trabajo utilizado para eliminar el calor del colector puede ser agua que corra por tuberías unidas a la placa ennegrecida, que fluya por detrás de la superficie absorbedora o entre esta y las hojas transparentes. Los líquidos caloportadores tienden a tener las más favorables características de potencia de bombeo para la transferencia térmica.

La eficiencia de la captación solar se define como la razón de la energía útil captada a la energía solar incidente. La eficiencia η se puede calcular como:

$$\eta = \alpha\tau - \frac{U\Delta T}{S}$$

Donde:

α es el coeficiente de absorción solar en la superficie del absorbedor.

τ es la transmitancia de las hojas transparentes.

U es el coeficiente de pérdida térmica del colector.

ΔT es la diferencia de temperatura entre el absorbedor y el aire ambiental.

S es el flujo solar incidente.

Como lo indica la ecuación anterior, la eficiencia del colector solar tiende a disminuir ya sea a una alta temperatura de captación (ΔT alta) o a una baja radiación solar incidente (S baja), dependiendo la rapidez de esta disminución del coeficiente de pérdida térmica U . Una meta en el diseño de un colector solar de alta eficiencia es mantener una elevada absorción y transmisión solar al tiempo que se minimiza el coeficiente de pérdida térmica.

La eficiencia del colector se define por su curva característica según se muestra en la figura N° 1.3

La eficacia del colector se define como la relación entre el calor útil aportado al calentamiento del fluido que circula por su interior y la energía por el colector.

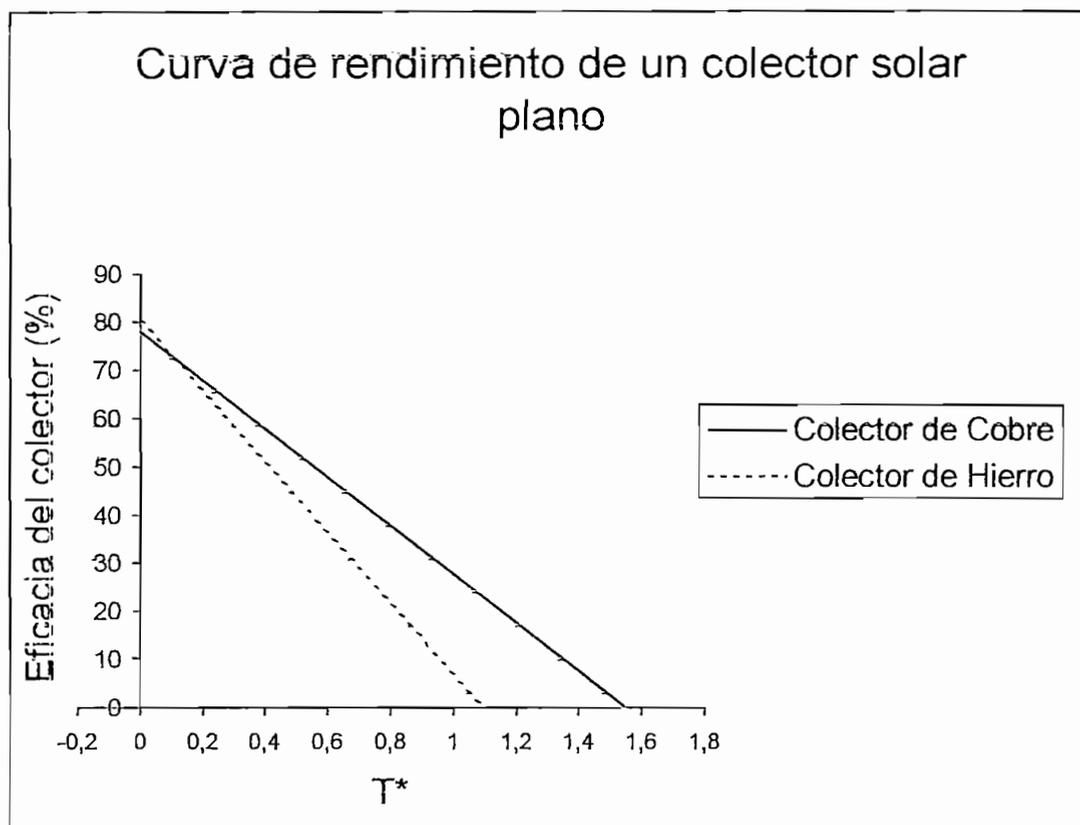


Figura N° 1.3 Curva de rendimiento en un colector solar plano

El parámetro adimensional T^* está definido por

$$T^* = U_0 \frac{T_e - T_a}{S}$$

donde:

U_0 = $10 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$: factor de la escala

T_e : Temperatura de entrada del colector ($^{\circ}\text{C}$)

T_a : Temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$)

S : Radiación incidente (W / m^2)

En la gráfica (figura N° 1.3), el punto de corte de esta recta con el eje de ordenadas corresponde al máximo rendimiento del colector que aparece en el caso de que la temperatura de entrada coincida con la temperatura ambiente, tal que las pérdidas de calor son iguales a la aportación solar, no habiendo ganancia neta al producirse el equilibrio.

A medida que se incrementa la temperatura de entrada, el rendimiento disminuye ya que se emite mayor energía por parte del colector. La curva varía sensiblemente según el tipo de colector de que se trate. Los valores representativos medios pueden ser:

Para colector de acero conformado y soldado con tratamiento no selectivo:

$$\eta = 0.80 - 0.73 T^*$$

Para colector de tubos y aleta de cobre con tratamiento selectivo

$$\eta = 0.78 - 0.50 T^*$$

Existe una normativa oficial para la homologación de colectores en la cual se evalúa la curva característica de los diferentes modelos, existiendo requerimientos mínimos de rendimiento.

Esta valoración se realiza sobre equipos nuevos y de forma puntual, no siendo en general representativo del comportamiento del colector a lo largo de su vida de trabajo, ya que su eficacia puede evolucionar de diferente manera con el paso del tiempo.

En la instalación de colectores planos existen dos factores de gran importancia para optimizar su funcionamiento: la orientación y la inclinación.

Con estas dos variables se pretende que a lo largo de las horas del día y de los meses del año, el ángulo formado por la radiación incidente y la normal al colector sea mínimo. Esto se conseguirá en general orientando los colectores hacia el sur y dando un ángulo de inclinación igual a la latitud del lugar. No es muy crítica la exactitud ni del ángulo de inclinación ni de la dirección de la orientación acimutal; las desviaciones de 10 a 15 grados del punto óptimo tiene muy poco efecto sobre el rendimiento.

Este ángulo de inclinación podrá variarse a lo largo del año si se prevé que en la aplicación van a existir sensibles diferencias en cuanto a la demanda de unos meses respecto a otros y para que sea más favorable en los meses de mayores requerimientos energéticos. Aparte de los procedimientos analíticos existen tablas que desarrollan el ángulo de inclinación e indican la radiación incidente sobre superficies inclinadas para los distintos meses del año y las distintas latitudes geográficas.

En cuanto a la forma de conexión de los colectores entre si, lo habitual es que todos estén en paralelo

El subsistema colector además de los propios paneles incorpora elementos de interconexión, aislamientos, valvulería de corte, llenado, seguridad y desaireación, tubería de fijación y anclaje.

1.3.1 SISTEMA DE ALMACENAMIENTO

Tanto la energía que se recibe del sol como la demanda del agua caliente son magnitudes que dependen del tiempo y no siempre, los requerimientos de estos se producirán cuando se dispone de suficiente radiación.

Por lo tanto, si se quiere aprovechar al máximo las horas de sol, es necesario acumular la energía en aquellos momentos del día en que esto sea posible y utilizarla cuando se produzca la demanda.

Habitualmente se almacena la energía en forma de calor sensible por medio del agua que se pasará al consumo posteriormente.

La dimensión de los tanques de almacenamiento deberá estar proporcionada al consumo, cubriendo la demanda de agua.

Ligados al subsistema de acumulación suelen ir además del propio tanque, el intercambiador y la bomba, así como otros elementos auxiliares, tales como válvulas de seguridad, manómetro, termómetros y otros.

1.4 DESPERDICIOS DE ENERGÍA EN EL PROCESO MANUAL DE CALENTAMIENTO

Cuando un objeto es expuesto a la radiación solar, su temperatura se eleva hasta que las pérdidas de calor igualen a las ganancias.

Las pérdidas de calor de un objeto se dan principalmente por la irradiación de calor que este produce al presentar un aumento de temperatura en su superficie, igualmente por las corrientes de aire frío en el exterior y de la conductividad térmica de los objetos en contacto con el de referencia.

Un sistema solar de calentamiento de piscina cumple y realiza cuatro funciones importantes: recolectar energía solar, almacenar esa energía, circular o distribuir la energía térmica obtenida y controlar el proceso según los requerimientos.

Un sistema ideal sería uno de rastreo de los rayos solares siendo una inversión injustificable, cara y complicada, obteniendo casi los mismos resultados con colectores fijos e inclinación correcta, que es sumamente importante.

En el proceso de calentamiento de tipo manual, la primera fuente de desperdicios de energía calórica se da por falta de aislamiento térmico o mal aislamiento.

Otra fuente de desperdicios de energía calórica se produce por un mal almacenamiento de calor o un almacenamiento mínimo, de forma que no puede

ser transferido por ser insuficiente o un almacenamiento excesivo de calor que al ser transferido al agua de la piscina hace que esta adquiera una temperatura superior a la deseada.

La rapidez con que se efectúe la transferencia de calor es importante en un sistema de calentamiento de agua para la piscina y es un factor que no puede ser controlado de forma eficiente cuando existe un proceso manual de calentamiento.

Otro factor que produce desperdicio de calor es la distancia entre el tanque de reserva de agua en calentamiento y la piscina

Esta distancia puede optimizarse para que las instalaciones sean ubicadas lo más cercanas a la piscina y con una interconexión directa.

El área de la superficie del agua en la piscina también debe ser optimizada, ya que normalmente el calor va a estar dirigido a través del fluido del agua caliente hacia la parte alta de la piscina y la alimentación del agua fría en la parte baja del tanque acumulador.

Normalmente, las instalaciones antiguas de calentamiento de agua para piscina disponen de la posibilidad de aportar calentamiento auxiliar mediante la quema de leña o de combustible. Luego se mejoraron estos aportes de calentamiento auxiliar mediante el uso de calderos. Sin embargo, este sistema demostró no poder ser controlado de forma eficiente y que el desperdicio de energía térmica era excesivo, lo cual encarecía el valor de la prestación de servicios públicos o privados de piscinas de agua caliente con instalación mixta para recibir calor solar y calor auxiliar, hasta llegar a la temperatura requerida.

El control de circulación de agua caliente realizado en forma manual se lo hace mediante válvulas, las mismas que aportan desperdicios de energía surgidos por la demora en abrir las válvulas, por el material que lo constituye y por la cantidad de circulación del agua.

El accionar de una bomba de agua es también requerida para un sistema de calentamiento de agua para piscina

En este caso, si el control es manual, a más de la energía térmica se pierde la energía eléctrica requerida para mantener activa a la bomba de agua en los tiempos necesarios para el encendido y el apagado de la bomba.

Todos los desperdicios energéticos de un sistema de calentamiento de agua para piscina se traducen en el incremento del costo de servicios.

1.5 FORMAS DE MEJORAR EL PROCESO DE CALENTAMIENTO

El proceso solar de calentamiento de agua para piscina ha sido paulatinamente mejorado y se siguen haciendo esfuerzos permanentes por recuperar la mayor cantidad de energía y conseguir que se transforme en energía térmica útil en el calentamiento para la piscina.

1.5.1 AUMENTO DE LA ENERGÍA SOLAR ASIMILADA

Los colectores planos asimilan la radiación solar directa y la radiación solar difusa. En ellos se procura inicialmente tener una adecuada orientación y una precisa inclinación con respecto al sol.

Además se busca permanentemente aumentar la absorción de la energía solar y para ello se implementan mejoras que entre otras es la de colocar una capa adicional de vidrio en la ventana receptora de la energía solar con lo que se aumenta de un 25% a un 30% la energía absorbida. También se pinta el fondo de la caja que constituye el colector, de color negro con lo que se incrementa a más del 90% la absorción de la energía solar recibida.

En estos días se da a conocer sobre un colector solar llamado Seido 2¹ en el que la pieza clave la constituye la superficie de absorción, que transforma la luz que recibe en calor, transfiriéndolo a un circuito calorífico. Para cumplir esta tarea

¹ Seido 2: Un colector solar de tubos al vacío es la novedad EL COMERCIO Sábado 17 de noviembre de 2001, Página C10. Sección Construir.

el absorbedor está impregnado selectivamente con una capa estable de nitrato de aluminio de larga duración. La transmisión del calor del absorbedor al circuito calorífico tiene lugar directamente sobre un tubo en el que está montado el absorbedor que conduce el calor.

En el mejoramiento se incluyen sellamientos y aislamientos instalados con una técnica más actualizada.

1.5.2 MEJORA EN EL ALMACENAMIENTO DE LA ENERGIA

El sistema de almacenaje de energía calórica obtenida por transformación de la energía solar recibida, procura llegar en el mayor porcentaje hacia la función de calentamiento del agua en tanques, desde los que circulará hacia la piscina. Se procura diseñar el circuito de tubería sea en serie o en paralelo. Se busca que el material de las tuberías sea el más adecuado y esté inicialmente lo más en contacto con la superficie de absorción del colector, así mismo, que el sentido de ingreso de agua fría de abastecimiento, sea por el fondo del tanque y que el agua caliente circule por la parte superior. El tanque debe ser aislado térmicamente para evitar las pérdidas exteriores del calor. El tanque debe estar lo más cerca del serpentín de la tubería en el colector solar y debe buscarse que su cercanía a la piscina esté garantizada para evitar pérdidas de energía cuando se inyecte agua caliente.

1.5.3 MEJORA EN EL SISTEMA DE CIRCULACIÓN O DISTRIBUCIÓN TÉRMICA DEL AGUA CALIENTE

En la tubería de circulación de agua caliente desde los tanques de abastecimiento hasta la piscina, se han introducido muchas mejoras: una adecuada medida de caudales para que la condición de calentamiento del agua de la piscina sea progresiva y creciente. Las tuberías se las instala considerando materiales poco corrosivos y que permiten mediante un adecuado sellamiento y aislamiento, mantener el calor absorbido.

1.5.4 MEJORA EN EL SISTEMA DE CONTROL

El control en un sistema de calentamiento de agua para piscina se lo efectúa mediante válvulas y con el uso de una o más bombas de agua. Inicialmente se tenían solamente llaves o válvulas de accionamiento mecánico, pero luego, muchas de ellas han sido cambiadas por válvulas solenoides, y con el transcurrir del tiempo se han instalado sistemas cada vez más automatizados.

El control del proceso de calentamiento de agua para piscinas busca evitar la pérdida de energía térmica, darle continuidad al servicio prestado de tener un adecuado nivel de temperatura y ahorrar energía en todas las formas, evitando desperdicios de volúmenes de agua útiles.

1.6 SOLUCIÓN AL PROBLEMA

La transferencia del agua caliente cuya temperatura se ha obtenido a base de la energía irradiada por el sol hacia la piscina, debe cumplir con algunos requisitos:

1. Debe haber alcanzado una temperatura que sea mayor que la que tiene el agua de la piscina. Su medida requiere entonces disponer de termómetros que puedan evaluar esta diferencia.
2. La diferencia de temperatura debe tener en lo posible un valor fijo que puede ser entre dos y tres grados centígrados, para realizar la transferencia o circulación del agua caliente del tanque a la piscina.
3. El momento que exista esta diferencia de temperatura se hace circular el agua mediante una bomba

Estas acciones si se las realiza de forma manual no son suficientemente exactas y pueden dar por resultado algunos desperdicios de energía y fugas térmicas.

Por ello, se propone con el presente proyecto realizar un control electrónico microcontrolado para el calentamiento de agua para piscinas.

CAPITULO 2

ESPECIFICACIONES Y DISEÑO CIRCUITAL

INTRODUCCIÓN

Una vez que se han expuesto las características de un sistema de calentamiento de agua para piscina, que aprovecha la energía solar, es indudable la importancia que adquiere el ahorro de energía en todo el proceso.

El proyecto identifica sobre todo la necesidad de establecer un control electrónico microcontrolado para el efecto de transferir el agua calentada en paneles solares mediante circulación automática hacia la piscina y de ella hacia los paneles solares con el objeto de ir calentando paulatinamente el agua de la piscina y temperarla para el uso humano.

2.1 REQUERIMIENTOS Y ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA

Se trata de conseguir un control automático para calentar el agua de una piscina aprovechando el calor solar almacenado en paneles solares con circulación de agua ahorrando el gasto de energía con el calentamiento.

Los paneles solares permiten recoger la energía calórica que en dependencia con la intensidad de los rayos infrarrojos produce el sol como incidentes en la superficie terrestre. Esta energía calórica almacenada puede usarse para calentar el agua contenida en una serie de tubos de cobre ubicados bajo los paneles solares.

La temperatura del agua sube con pendientes diferentes a lo largo del día. El calor del agua contenida en la tubería de cobre ubicada bajo los paneles solares se lo puede transferir por circulación desde los paneles solares hacia la piscina y de esta hacia los paneles para que el agua de la piscina vaya elevando su temperatura paulatinamente.

Al optimizar esta operación, se puede bombear el agua cada vez que exista una diferencia de temperatura preestablecida entre el agua alojada en los paneles solares y el agua de la piscina.

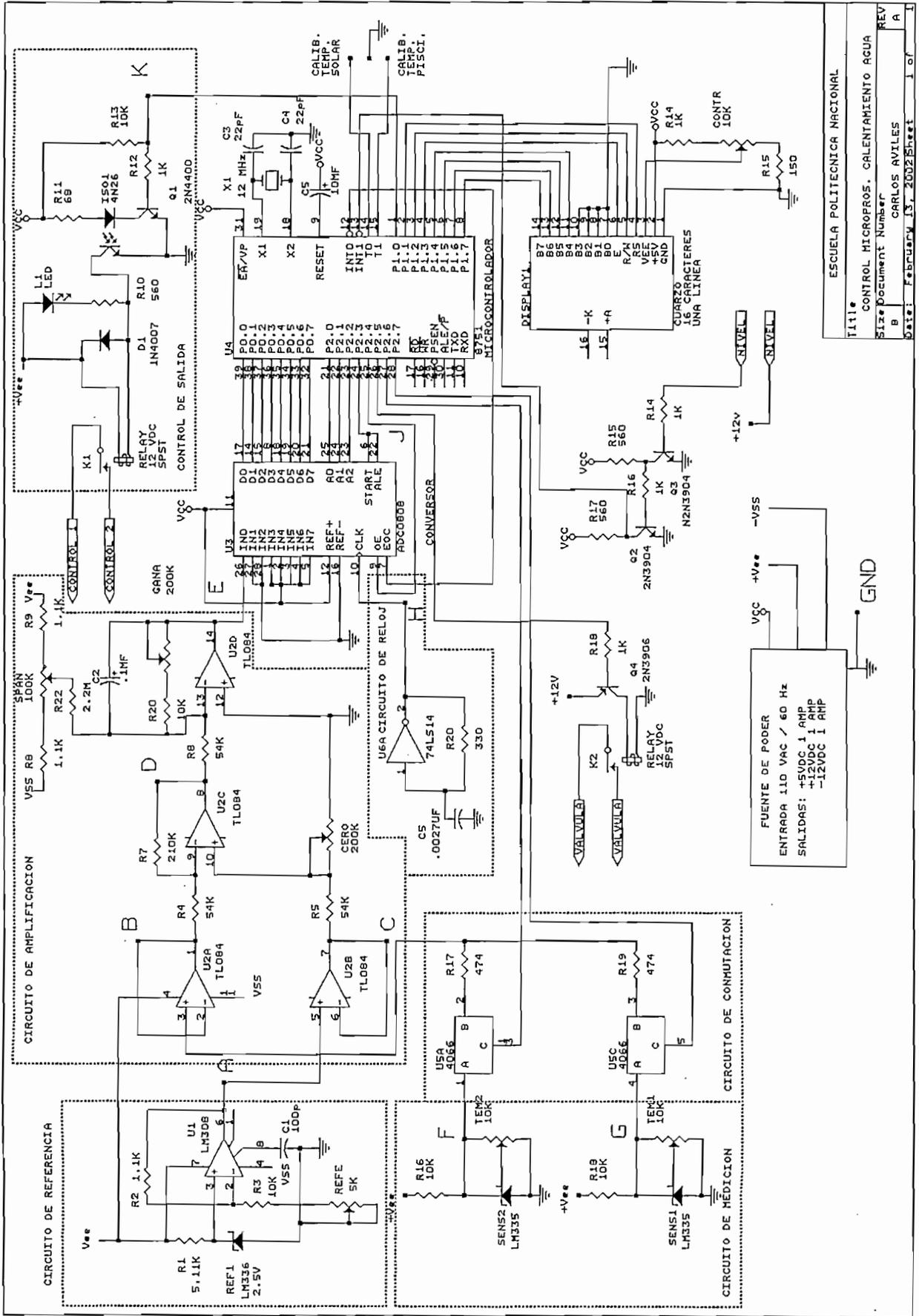
Interesa aprovechar al máximo la transferencia de energía térmica al agua de la piscina y gastar la mínima cantidad de energía eléctrica en el accionamiento de la bomba.

Este objetivo se logra con el diseño de un sistema electrónico microcontrolado.. El sistema se basa en un circuito microcontrolador MCS-51, con un programa que está desarrollado y autocontenido, el 8751H; un conversor analógico digital de 8 bits, sensores de temperatura LM335 de respuesta lineal, una pantalla o display de cuarzo de 1 línea, de 16 caracteres y el control de un minirelevador para accionar el contactor de la bomba. La electrónica se la ha montado en un circuito impreso de fabricación local y diseñado en el presente proyecto.

2.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CIRCUITO.

Del análisis que se puede hacer del diagrama adjunto, que corresponde al diagrama general del circuito de control (Figura 2.1), se ha optado por realizar la medición de temperatura básicamente con un elemento de respuesta lineal y diseñado especialmente para este efecto por NATIONAL SEMICONDUCTORS y que es el LM335, cuya característica fundamental, al igual que las de otros elementos utilizados se adjuntan en el anexo de "hoja de datos".

Para la operación eficiente del sensor y para contrarrestar el efecto de la temperatura ambiente en los elementos del circuito, el fabricante del sensor recomienda utilizar el LM336 que es un elemento de referencia de voltaje de 2,5 V, independientemente de la temperatura ambiente.



TITULO		ESCUELA POLITECNICA NACIONAL	
CONTROL MICROFROS. CALENTAMIENTO AGUA			
Size	Document Number	REV	
B	CARLOS AVILES	A	
Date:	February 13, 2002	Sheet	1 of 1

Entre las características del LM335, se encuentra que su salida es lineal e igual a 10mV por grado centígrado y que a cero grados centígrados establece un voltaje de 2,73 voltios, por lo que se hace necesario amplificar la señal de referencia del LM336 de tal manera que se puedan tener dos señales exactamente iguales en cero grados centígrados a 2,73 V.

Una vez obtenidas dos señales comparables, la una fija como una referencia de medición y la otra, linealmente proporcional a la temperatura medida, se puede alimentar un amplificador del tipo de instrumentación, con elementos de precisión.

Visto que se tiene necesidad de medir dos temperaturas y que la acción posterior, esto es, la de comandar la bomba, dependerá de la diferencia de temperaturas entre los dos sensores, se ha colocado un conmutador analógico controlado por el microcontrolador para leer en un tiempo la temperatura de la piscina y luego la temperatura del calentador solar, utilizando todos los elementos, tanto de referencia como de amplificación, comunes para los dos sensores y evitar de este modo las diferencias que se podrían producir por efecto de los elementos del circuito.

Para poder obtener una igualdad de condiciones iniciales entre los dos sensores y por tanto en la calibración de medición de temperaturas, se ha colocado potenciómetros de precisión en paralelo a los mencionados sensores.

El amplificador del tipo de instrumentación, está diseñado con un amplificador operacional de excelentes características y que es el TL084, con los ajustes mínimos necesarios para compensar los valores de ganancia y límites de operación.

La señal obtenida del amplificador, variable entre 0 V para la temperatura de cero grados centígrados y +5 V para la temperatura de cincuenta grados centígrados es introducida a un conversor analógico digital de ocho bits, multiplexado de ocho entradas analógicas, de las que se utiliza solamente una, dejando las demás para ampliaciones futuras.

El inicio de la operación del conversor ADC0808 la establece el microcontrolador.

Las salidas del conversor van directamente al bus del microcontrolador 8571H de INTEL, que es el que se encarga de realizar todas las funciones de control y operación del sistema a través de un programa autocontenido grabado en su memoria EPROM y que realiza las funciones requeridas. Este programa en su versión fuente se presenta en los anexos de este trabajo.

El microcontrolador controla un display de tipo LCD, de una línea, por 16 caracteres, alfanumérico y autocontrolado por sus propios microcontroladores.

La acción de control de salida, se la ha hecho a través de un relevador comandado por un optoacoplador, 4N25, desde el microcontrolador y será la función encargada de prender y apagar la bomba de recirculación del agua.

2.3 DISEÑO DE LAS ETAPAS DEL CIRCUITO

2.3.1 CIRCUITO DE REFERENCIA

Este sistema está basado en la operación de un circuito de referencia LM336 de 2,5V que es un circuito integrado regulador tipo shunt. Este circuito de referencia opera como un elemento de bajo coeficiente de temperatura, en un nivel de 2,5 V y 0,2 ohmios de impedancia dinámica.

El rango de temperatura en el que este diodo de referencia opera satisfactoriamente está entre cero grados centígrados y +70 grados centígrados.

Entre sus características fundamentales se destacan:

1. Bajo coeficiente de temperatura
2. Rango de corriente de operación entre 300 microamperios y 10 miliamperios.

3. 0,2 ohmios de impedancia dinámica.
4. $\pm 1\%$ de tolerancia inicial.
5. Estabilidad de temperatura garantizada.

Se elige una corriente aproximada de 2 mA para polarizar el circuito, para lo que se utiliza una resistencia de 5,11 Kohms. Este valor de corriente es recomendado por el fabricante.

El segundo elemento electrónico utilizado para la referencia es un amplificador operacional U1, LM308 que es un amplificador de precisión con características bastante buenas e importantes en relación a las respuestas de temperatura: un voltaje de offset menor a 1mV y fugas en el orden de $5 \mu\text{V} / ^\circ\text{C}$.

La relación de ganancia para 0°C es de:

$$2,5\text{V} \times \frac{1,1\text{K}}{10\text{K}} = 0,275\text{V} \text{ a } 0^\circ\text{C}, \text{ en el punto A.}$$

2.3.2 CIRCUITO DE MEDICIÓN

Para realizar la medición de las temperaturas se utilizan sensores LM335 que proporcionan una caída de potencial de $10 \text{ mV} / ^\circ\text{K}$ de manera lineal, para 0°C será de 0,275 V.

Entre las características principales, estos sensores cuentan con:

1. Rango de corriente de operación entre $300 \mu\text{A}$ y 5 mA .
2. 1 ohmio de impedancia dinámica.

3. $\pm 1\%$ de tolerancia inicial.

En el circuito se utiliza una resistencia, R16 y R18, de 10 Kohms para fijar la corriente para cada sensor, en alrededor del 1,2 mA. Con un potenciómetro de ajuste en el terminal, que para este efecto recomienda el fabricante, se realiza la calibración de los dos sensores en condiciones idénticas, dentro del comportamiento lineal esperado de los dispositivos.

2.3.3 CIRCUITO DE CONMUTACIÓN

En razón de que se requiere efectuar las mediciones de los dos sensores para activar el relevador de salida en función del diferencial térmico existente entre ellos, se ha decidido utilizar el mismo sistema de amplificación para los dos, que obliga al uso de un conmutador analógico controlable digitalmente desde el microcontrolador para poder realizar las mediciones según se los active desde el programa.

Para cumplir con esta función, se elige el circuito CD4066 que es un cuádruple conmutador bilateral que mantiene una resistencia equivalente a 150 ohmios aproximadamente cuando está prendido y tiene una frecuencia máxima de conmutación de hasta 40 MHz.

Es prudente poner a la salida de los switches, una resistencia de 474 ohmios para evitar que se produzca alguna sobrecorriente en el circuito al inicio de la operación, por la habilitación simultánea de los dos switches, debido a que los puertos del microcontrolador se ponen en nivel alto mientras dura el ciclo de reset. En este caso, podría ir cualquier valor de resistencia, sin embargo se ha considerado esta resistencia de precisión que se encontró en el mercado y que es mayor que la impedancia del circuito 4066, lo que evita que circule una corriente. Esta resistencia, sumada a la que presenta cada switch no afecta en nada a la

medición posterior, pues la impedancia de entrada del amplificador es bastante alta comparada con estas resistencias.

2.3.4 CIRCUITO DE AMPLIFICACIÓN

Las salidas de los dos switches a través de las resistencias R17 y R19 van a la segunda entrada del amplificador de instrumentación. El valor de 474 ohm cumple entonces la función especificada en el párrafo anterior.

El amplificador de las señales de los sensores tiene la configuración de entrada diferencial con amplificadores operacionales actuando como seguidores de voltaje, esto es, la entrada inversora conectada a la salida y la señal inyectada por la entrada no inversora. Esta configuración proporciona una muy alta impedancia de entrada, con una ganancia de voltaje igual a 1, tiene por objeto eliminar la influencia que puedan tener las impedancias propias del amplificador con las de los sensores.

Las dos salidas de los seguidores de voltaje, la una que es portadora de la señal de referencia y la otra que contiene la señal del sensor seleccionado, entran a un amplificador inversor con una ganancia de $210000/54000 = 3,89$ veces, en voltaje. Esta relación de ganancia es calculada de esta manera por corresponder al comportamiento del amplificador operacional. La entrada no inversora del amplificador que maneja la señal de referencia tiene un potenciómetro para hacer el ajuste del cero.

La salida amplificada ingresa a otro amplificador inversor igual al anterior, que permite regular la ganancia a 2,57 en voltaje para obtener una ganancia final de 10 entre los dos amplificadores.

Esta ganancia es necesaria debido a que los sensores proporcionan una señal de 10 mV por °C y siendo el rango a medir de 50 °C, el voltaje final será de 500 mV. Como se usa el rango completo del conversor es necesario que el voltaje de

entrada varíe entre 0V y 5V, requiriendo por tanto de una ganancia de 10 en voltaje, en la amplificación total.

Este amplificador final cuenta con un filtro capacitivo de tipo pasabajos cortado a una frecuencia de:

$$F = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2 * 3.14 * 54000 * (0.1 * 10^{-6})} = 29.47 Hz, \text{ para filtrar las componentes de}$$

60 Hz de la red, que pudieran modificar la operación del amplificador operacional y constituirse en ruido que afecte las lecturas.

2.3.5 CONVERTOR ANALÓGICO DIGITAL

El convertor utilizado es el ADC0808 de aproximaciones sucesivas, cuyas características más importantes son:

1. Resolución de 8 bits.
2. Error total de desajuste ± 1 LSB
3. No maneja códigos mezclados.
4. Tiempo de conversión de 100 μ s.
5. Usa una sola fuente de alimentación de +5 V dc
6. Dispone de 8 canales de entrada multiplexados.
7. Rango de entrada de voltaje analógico de 0V a 5V.
8. No requiere de ajustes de 0 ó de full escala.

9. Totalmente compatible con microcontroladores del tipo MCS-51
10. Requiere de un reloj externo de 500 KHz.

El control de la operación se hace desde el microcontrolador mediante el programa elaborado para el efecto.

El programa decide qué sensor habilita para la medición, luego pone la dirección en los puertos P2.0 para A0 del conversor, P2.1 para el A1 y P2.2 para el A2. De esta manera se escoge la entrada del conversor. Inmediatamente se genera un pulso por el puerto P2.3 para las entradas START y ALE del conversor, lo que origina el inicio de la labor de conversión. Cuando el conversor termina el ciclo de conversión baja la señal del EOC (End of Conversion) que conectada a la entrada de la interrupción externa 0, produce la interrupción del programa del microcontrolador. Una vez en esta rutina se espera por un pulso en el pin P2.4 que está conectado al pin OE (Output Enable) del conversor, con lo que los datos de la conversión se pondrán en el bus de salida del conversor; es entonces cuando se leen los datos por el puerto P0 del microcontrolador.

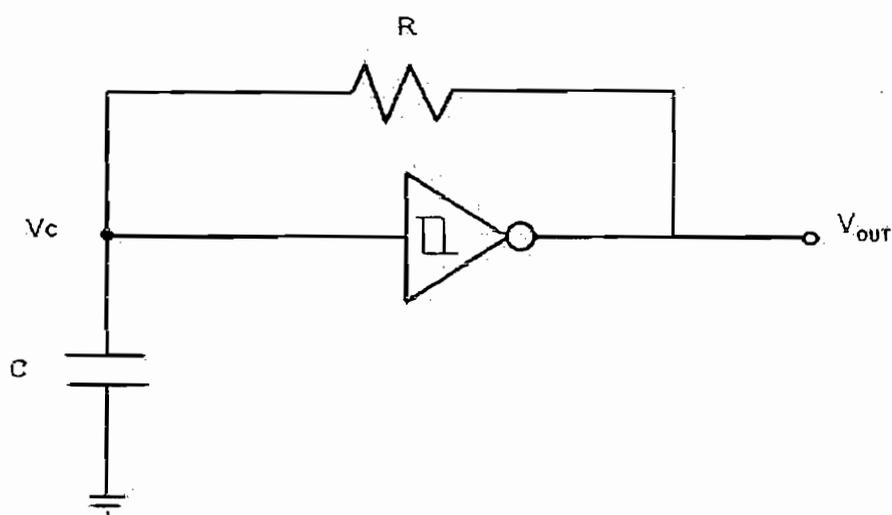


Figura N° 2.2 Circuito de reloj

Como el convertor requiere de una señal de reloj de 500Khz aproximadamente, se ha implementado un oscilador basado en un inversor TTL, fundamentado en un circuito 74LS14 con una resistencia de realimentación R20 de 330 ohmios y un condensador de 0,0027 μ F, que corresponde al circuito mostrado en la figura N° 2.2 y su forma de trabajo se ilustra con las curvas de la figura N° 2.3

La frecuencia se calcula mediante la fórmula:

$$f = \frac{1,2}{R \times C}$$

$$V_c < t_1 > = (3,4V - 2,5V e^{-\frac{t}{RC}})$$

$$V_c < t_1 > = 1,7 = (3,4V - 2,5V e^{-\frac{t}{RC}})$$

$$\therefore t_1 = 0,386RC$$

$$V_c < t > = (0,2V + 1,5V e^{-\frac{t}{RC}})$$

$$V_c < t > = 0,9V = 0,2V + 1,5V e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$t = RC \ln \frac{1,5}{0,7} = 0,762RC$$

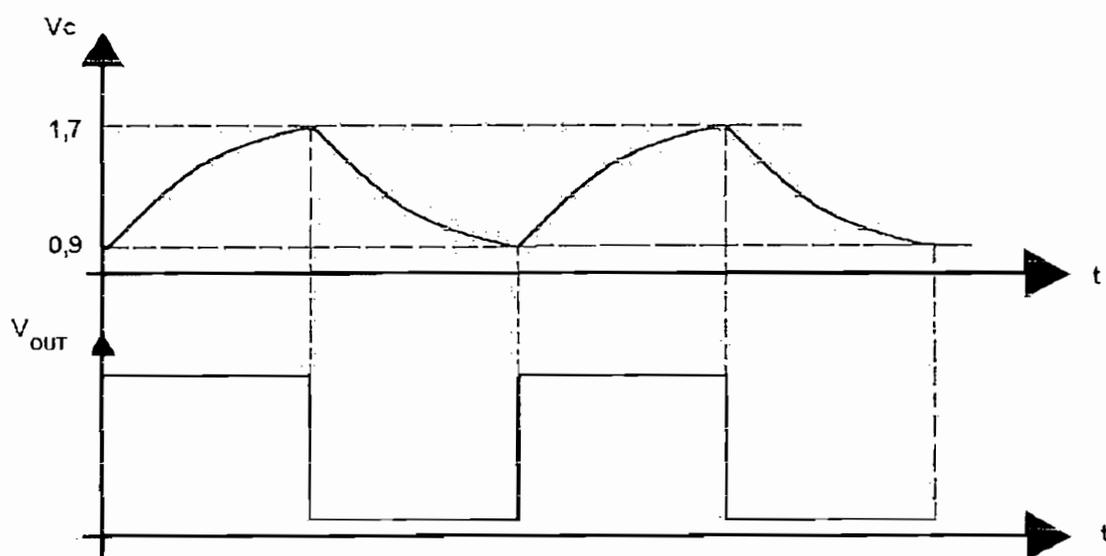


Figura N° 2.3 Lazo de histéresis y pulsos de reloj.

La frecuencia de reloj que requiere el conversor no es en lo absoluto crítica porque la conversión la realiza sincronizadamente con el reloj, afectando únicamente al tiempo de conversión y más no al valor convertido.

Para efectos de conversión se ha definido trabajar con un voltaje de 5V en la entrada de referencia, para que permita la operación en todo el rango del conversor.

2.3.6 MICROCONTROLADOR

El microcontrolador utilizado es el 8751H de INTEL, el mismo que tiene como sus principales características las siguientes:

1. Controlador de 8 bits.
2. Incluye oscilador y circuitería de reloj.
3. Tiene 32 líneas de entrada y/o salida.
4. Capacidad de manejo de hasta 64 Kb de memoria de datos.
5. Capacidad de manejo de hasta 64 Kb de memoria de programa.
6. Dos temporizadores y / o contadores de 16 bits.
7. Cuenta con una estructura de 5 fuentes de interrupciones con dos niveles de prioridad.
8. Una puerta full duplex para comunicación serial.
9. Cuenta con un controlador de funciones booleanas.

Este controlador es el encargado de controlar toda la operación del sistema y para ello se han tomado las siguientes consideraciones:

Para bus de comunicación con el conversor se utiliza el pòrtico P0.

El control de direcciones para el conversor utiliza los pines P2.0, P2.1 y P2.2

Los pines P2.3, P2.4 y P3.2 se utilizan para el control de operación del conversor.

Los conmutadores analògicos para el paso de la se±al de los sensores son controlados por P2.6 y P2.7

Las entradas P3.4 (T0) y P3.5 (T1), se utilizan para ejecutar funciones que permiten la calibraci3n de las etapas de amplificaci3n, de manera que cuando se pone $T0 = 0$ se hace que el controlador s3lo mida la temperatura 1 y muestre en el display el valor de esta lectura en un lazo infinito, hasta que se quite el puente. De la misma manera cuando se pone $T1 = 0$, lo hace para la temperatura 2.

Esta operaci3n permite calibrar cada uno de los potenci3metros del sistema de amplificaci3n, puesto que, una misma se±al, por ejemplo la correspondiente a la temperatura de la piscina est1 permanentemente seleccionada.

Del pòrtico P1 se utilizan los bits P1.4 a P1.7 para hacer un minibus de datos y direcciones con el display.

Los bits del pòrtico P1 se utilizan para el control del display y el P1.0 se usa para operar el relay.

Para generar la se±al de reloj de referencia en las entradas respectivas, se ha colocado un cristal de 12 MHz.

2.3.7 DISPLAY

El display utilizado es uno de cuarzo de una fila por 16 caracteres.

Incluye un controlador LSI HD44780 que permite operar con caracteres alfanuméricos de tipo ASCII y con protocolo dedicado, que está explicado en las hojas de datos de este dispositivo y aplicado en el programa del controlador.

Se usaron 4 bits para poder optimizar los pórnicos del microcontrolador. El resultado de la operación es exactamente igual en cuatro bits y ocho bits.

2.3.8 CONTROL DE SALIDA

El control de salida se lo realiza a través de un circuito en base a un optoacoplador y de este a su vez a un relay de +12 V dc con una capacidad de manejo de corriente de 5 Amp a 125 V ac para controlar el contactor de la bomba de recirculación de agua de la piscina.

Se incluye el optoacoplador para evitar que los valores pico o transitorios que genera la operación del contactor, interfieran en la normal operación del circuito de control.

2.3.9 FUENTE DE PODER

La fuente que se ha utilizado para la alimentación a los distintos circuitos, es una de las del tipo de conmutación comerciales, que opera con 110V ac de entrada y salida regulada de +5 V dc a 1 A y ± 12 V dc a 1 A, con una capacidad de manejo total de 20 W.

2.4 CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

2.4.1 CIRCUITO

La primera parte construida corresponde a la placa de circuito impreso, donde se han montado los distintos circuitos electrónicos utilizados para configurar la etapa de control.

2.4.2 ENSAMBLAJE DE LOS ELEMENTOS

Los elementos electrónicos están montados en la placa sea mediante zócalos de soporte como en el caso de los circuitos integrados o en forma directa con sus patas de conexión fijadas a las líneas de circuito respectivas, mediante soldadura de estaño. Para la interconexión entre la placa principal y el display, y entre la placa y puntos externos de conexión, se utilizan hilos o cables eléctricos flexibles. Mecánicamente, la placa se sujeta al chasis mediante tornillos debidamente ubicados y ajustados a la base. El cable externo que porta el enchufe, sale desde la fuente y permite ir al tomacorriente de 110 V ac.

Los sensores de temperatura están incorporados sobre terminales que permiten su fijación con pernos y tuercas. Están debidamente protegidos de la humedad, que podría provocar cortocircuitos.

2.4.3 CHASIS

El chasis se ha construido con lámina de tol laminado. Se lo ha pintado con pintura antiestática.

Está constituido por dos cuerpos. El uno que internamente porta la placa principal de circuitos y externamente tiene los puntos de conexión de los contactos del relevador con la bomba de agua. El otro, que internamente contiene el display que se muestra externamente mediante una abertura y que externamente forma la parte frontal del equipo, donde están ubicadas las plaquitas rotuladas de la tesis y el display, así como también un interruptor de palanca para el encendido y luces de señal de encendido y de bombeo encendido.

2.4.4 CABLES EXTERNOS

Los cables que se tienen para conexión externa son: tres hilos que permiten la conexión desde el relevador a la bomba de agua, con sus puntos de contacto: común, normalmente abierto y normalmente cerrado. Otros cables son los que sirven para la conexión de los sensores de temperatura con los cuales se obtienen los valores de temperatura que van a ser mostrados en el display y que constituyen los datos para poder realizar el control. Otro cable se utiliza para el sensor de nivel. La válvula solenoide esta conectada mediante dos hilos de conexión a los contactos normalmente abiertos del relevador que sirve para el sistema de demostración. El otro cable es el de conexión desde una toma de 110 V ac.

2.4.5 PLACAS DE IDENTIFICACIÓN

Las placas que se han colocado en el equipo, tienen como propósito orientar el adecuado manejo del aparato y la presentación del mismo.

Se ha puesto una placa para señalar las posiciones del interruptor, de encendido y apagado. Otra placa sirve para determinar que luz indica la condición de encendido y la condición de bombeo encendido. Una tercera placa sirve para designar los terminales que corresponden a los contactos del relevador: común, normalmente abierto y normalmente cerrado. Una cuarta placa nombra los puntos de los terminales que corresponden al sensor de temperatura del agua de la piscina y los que corresponden al sensor de temperatura del calentador solar del agua. La placa más grande está ubicada en la cara frontal del equipo y da los datos informativos que lo identifican, señalan su condición de ser tesis de grado y el nombre de la institución.

Las placas son confeccionadas sobre plaquitas de acero delgado, marginadas con una línea fina del mismo color que las letras o de diferente color que ellas, en otros casos. Las letras tienen el tamaño que corresponde al tamaño de la placa y a la función de lo señalado en ellas.

2.4.6 VISTAS DEL PROTOTIPO

A continuación se presentan fotografías del aparato, que ilustran gráficamente sobre su estructura de construcción y la presentación visual del prototipo.

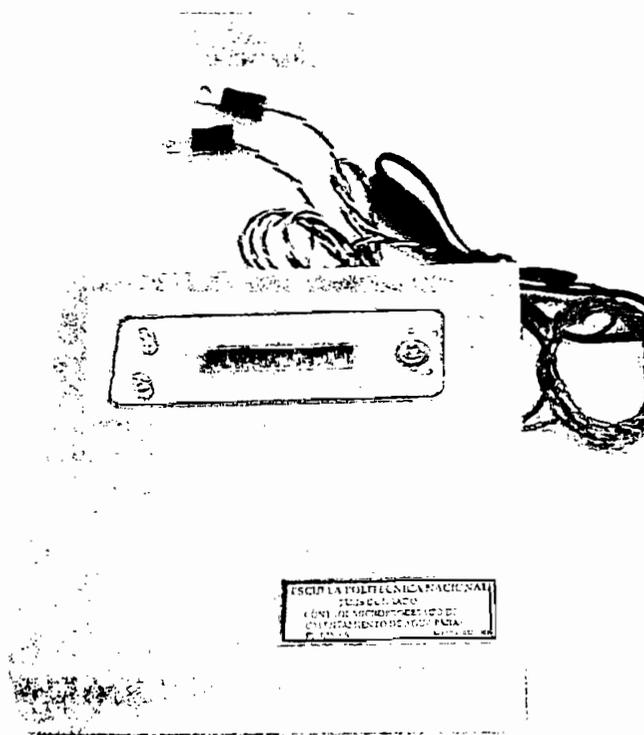


Figura N° 2.4 Vista frontal del prototipo

En la figura N° 2.4 se muestra la vista frontal exterior donde se observa en la parte superior izquierda, junto al display, los indicadores que señalan la condición de encendido, el ubicado en la esquina y bajo él, el indicador que señala la condición de operación de la bomba de agua cuando se enciende al alcanzar el diferencial adecuado de temperatura. En el centro, hacia arriba está el display, que en operación va a mostrar los siguientes mensajes:

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

Tesis de Grado

Temperatura Pisc °C.

Compara con

Temp.. Calen °C

El display mostrará los grados de temperatura que los sensores del agua de la piscina y del calentador establezcan. En la parte superior derecha se observa, adjunto al display, al interruptor que tiene indicadas las posiciones de encendido y apagado.

En la parte inferior derecha, consta la placa de identificación del proyecto.

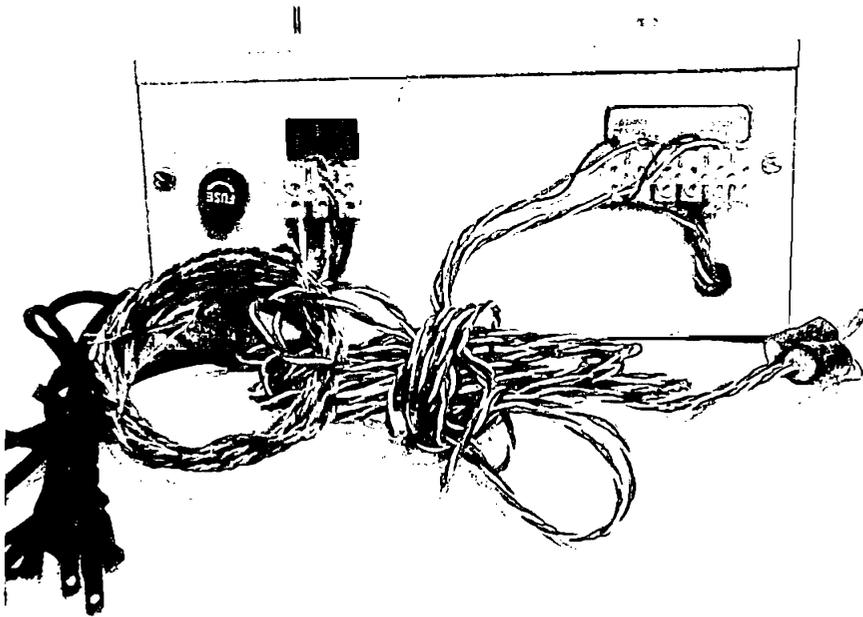


Figura N° 2.5 Vista posterior del prototipo

En la figura N° 2.5 se muestra la fotografía de la parte posterior del equipo donde se observan los puntos de los terminales de los contactos del relevador, por un lado, y que son: COMÚN, NORMALMENTE ABIERTO Y NORMALMENTE CERRADO. Desde estos terminales se hace la conexión a la bomba de agua. En el otro lado, a la misma altura se ubican los terminales que tienen instalados los

sensores de temperatura mediante dos cables. También se puede ver la tapa de la caja fusible que lleva el fusible de protección del aparato.

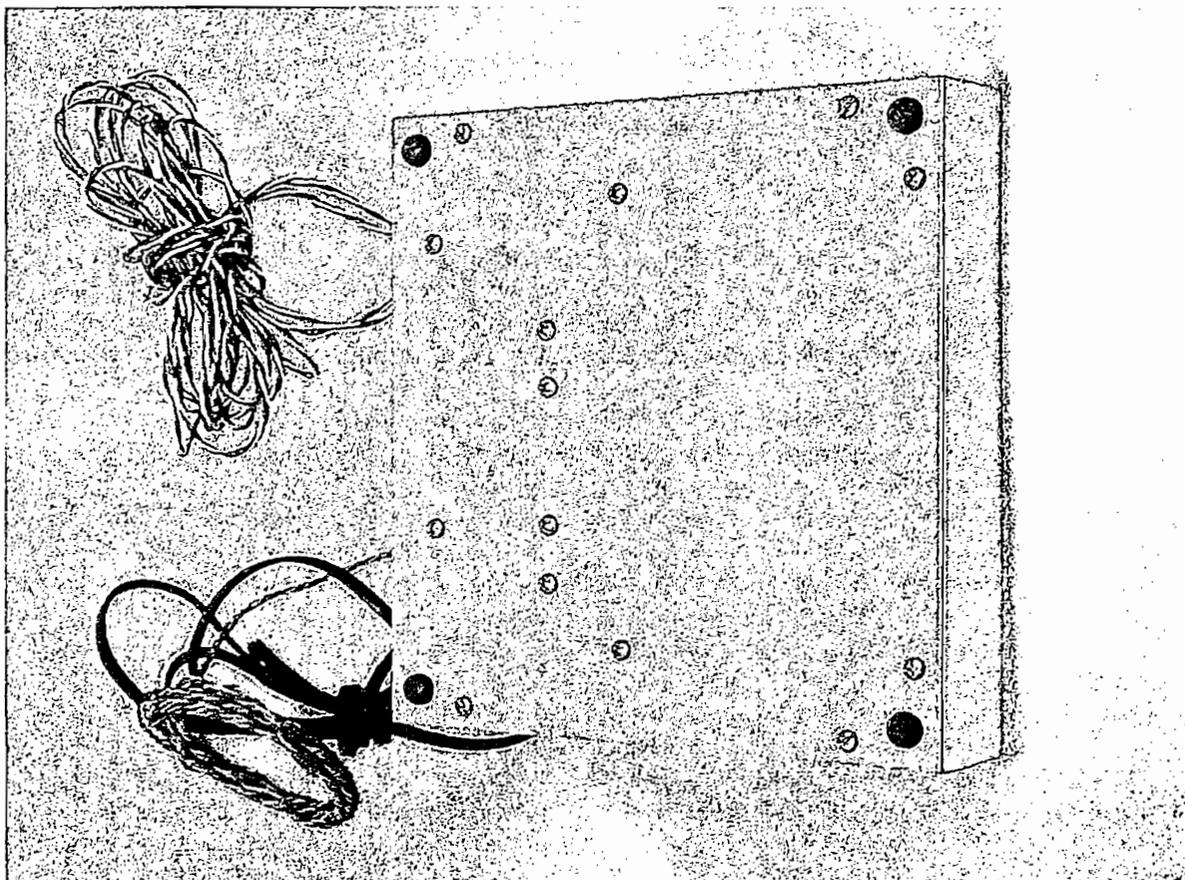


Figura. N° 2.6 Vista inferior del prototipo

En la figura N° 2.6 se muestra la fotografía de la parte inferior del equipo, en la misma que pueden observarse los topos de caucho que sirven para asentar al equipo y los distintos tornillos que se han utilizado en el ensamblaje.

En la fotografía de la figura N° 2.7 se puede ver la parte interior del equipo, donde se encuentra fundamentalmente la circuitería electrónica y los distintos cables de interconexión.

2.5 RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS

Por medio de los siguientes puntos, queda implícita la forma en que debe ser construido el equipo:

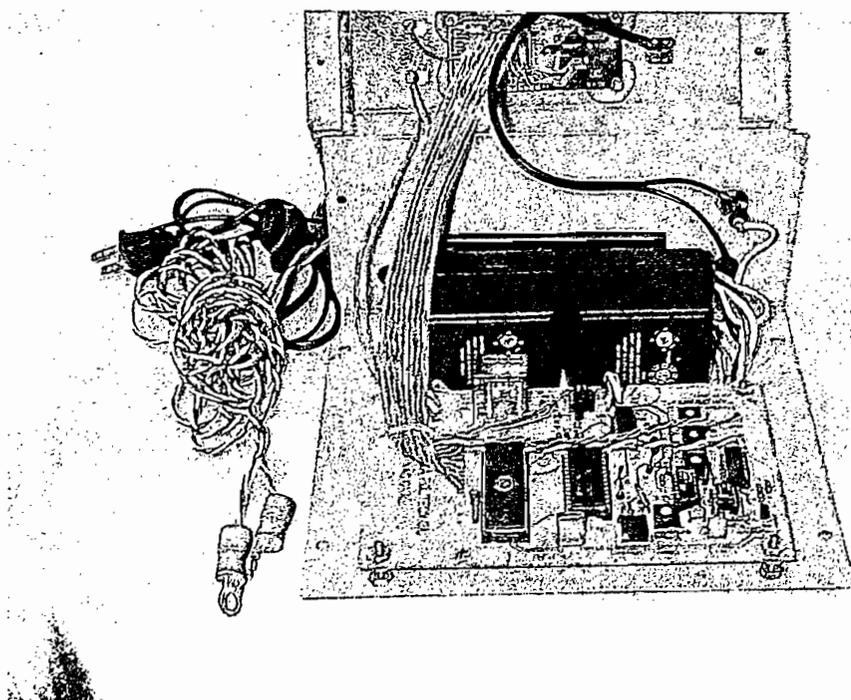


Figura N° 2.7 Vista interior del prototipo

1. Una sólida estructura externa donde el chasis de tol protege el aparato de daños mecánicos.
2. Los puntos de prueba y calibración tienen un cómodo acceso en el circuito, facilitando los procesos de calibración.
3. La pintura antiestática del chasis protege al equipo de variaciones eléctricas por efecto de transitorios, estabilizando eléctricamente el circuito de control y protegiendo los microcircuitos.

4. El gel protector de los sensores de temperatura evita cortocircuitos o problemas por choques eléctricos y su contacto directo con el agua, y además permite una adecuada conducción de la temperatura del medio al sensor.

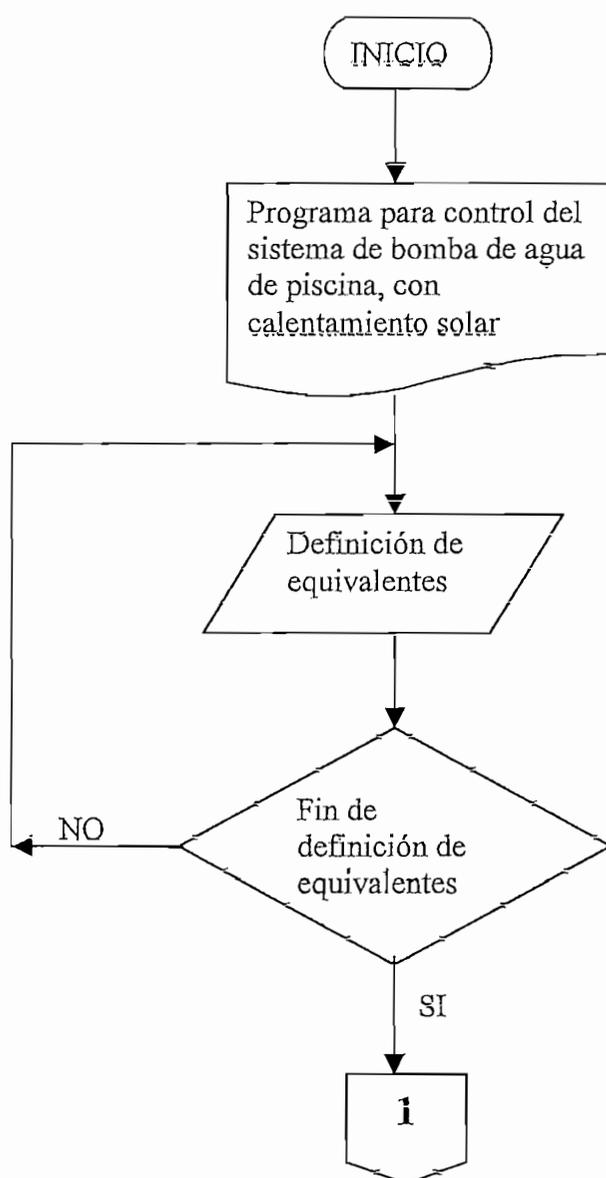
5. La clara identificación externa de los puntos de conexión permite realizar un manejo adecuado y seguro del aparato.

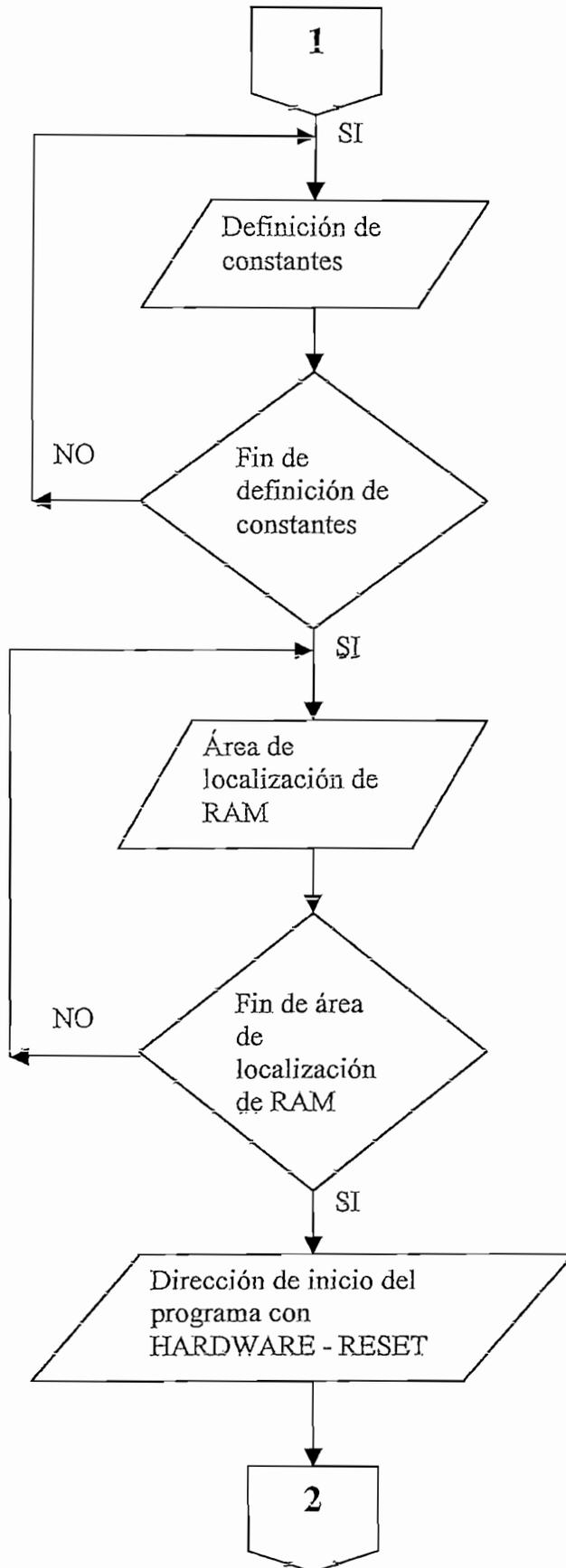
CAPITULO 3

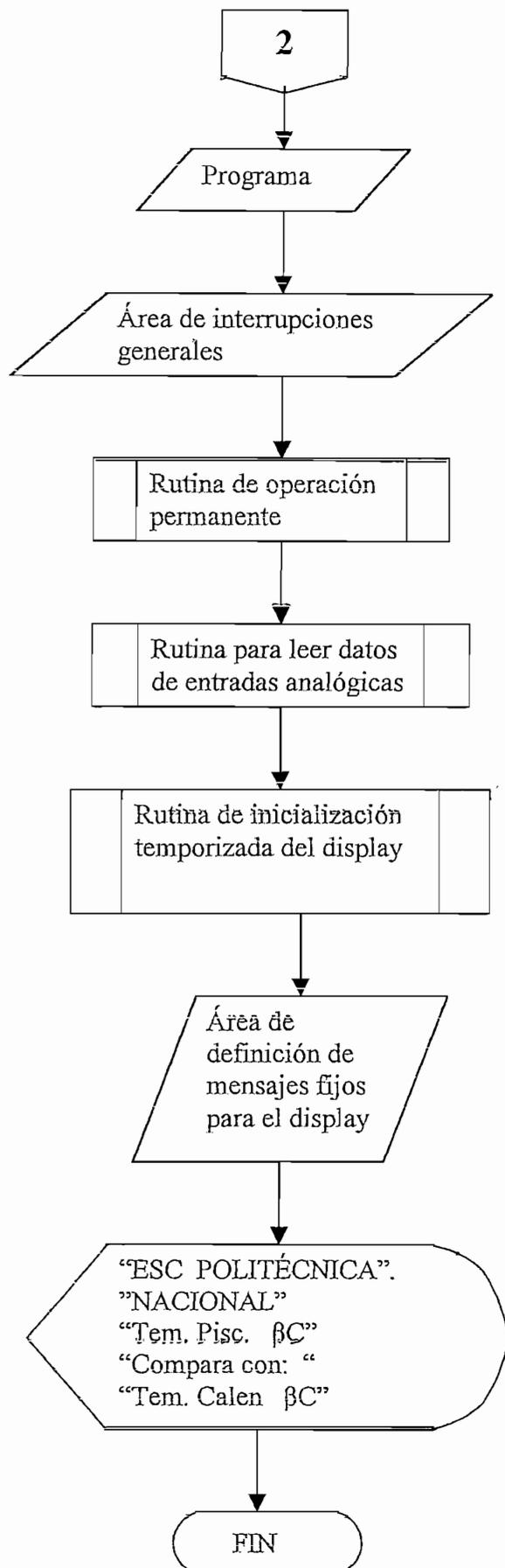
DISEÑO DEL PROGRAMA DE CONTROL Y RESULTADOS EXPERIMENTALES

El listado del programa con lenguaje ensamblador consta al final, en los anexos.

3.1 DIAGRAMA DE FLUJO Y DESARROLLO DEL PROGRAMA PRINCIPAL



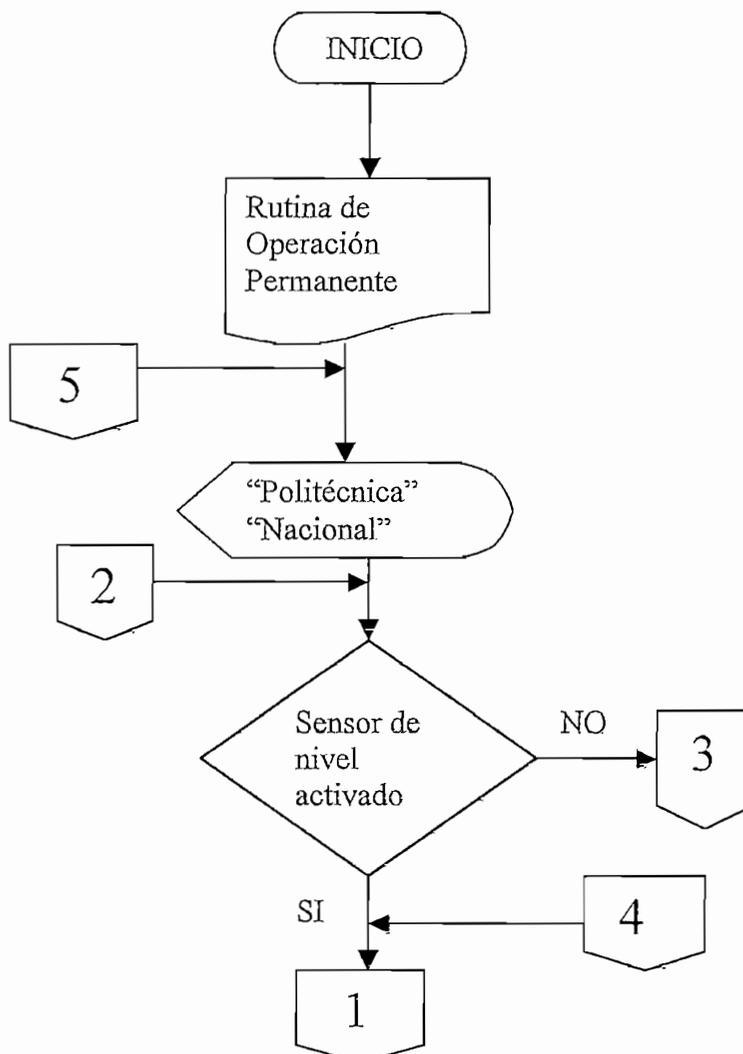


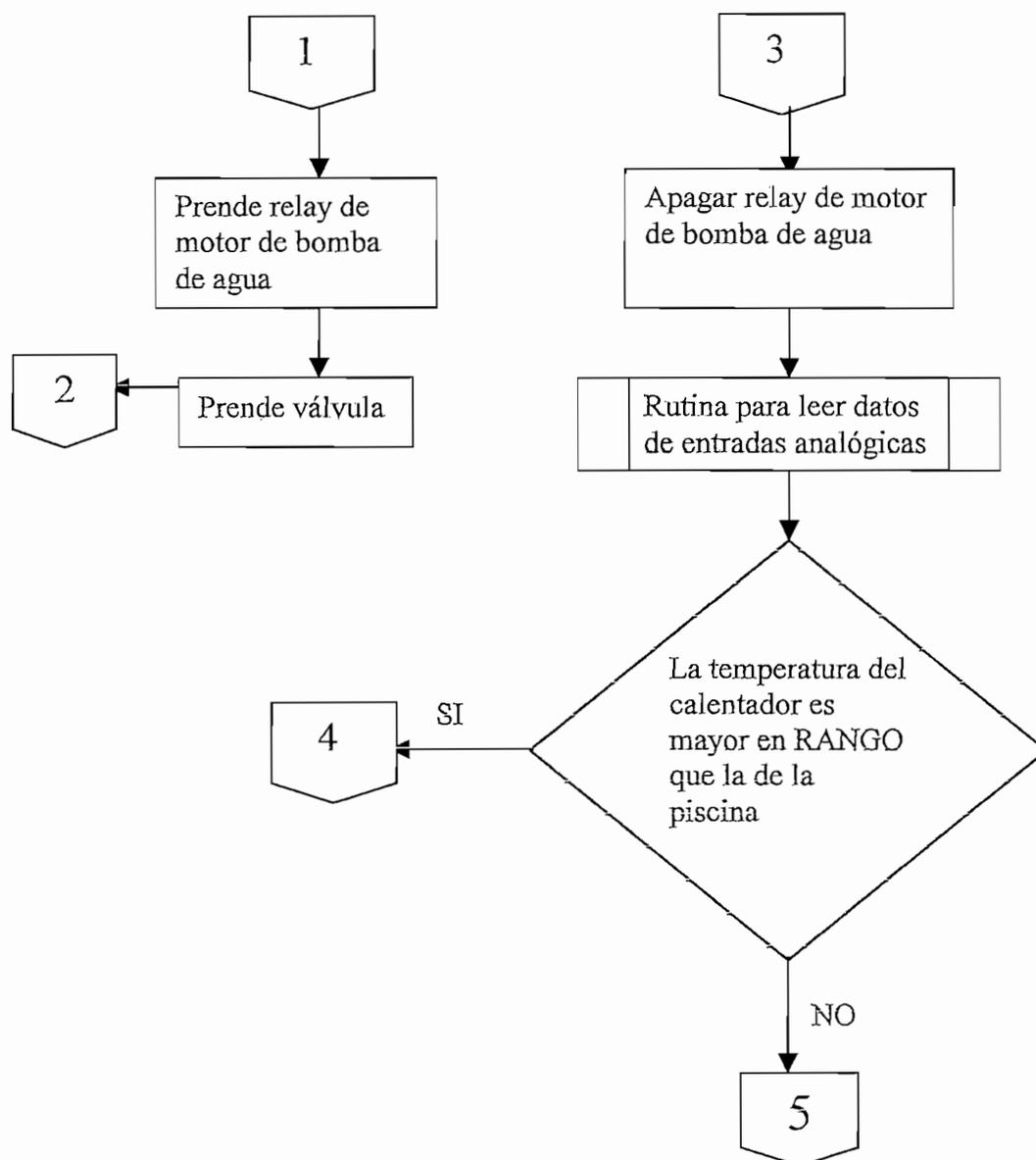


El programa para control del sistema de bomba de piscina con calentamiento solar inicia con la definición de equivalentes, definición de constantes, área de localización de RAM. A continuación señala la dirección de inicio con HARDWARE-RESET y establece el programa. Después establece el área de interrupciones generales. Luego señala la rutina de operación permanente, la rutina para leer datos de entradas analógicas, la rutina de inicialización temporizada del display, muestra en la pantalla los datos de interés y los mensajes para el cierre del programa.

3.2 SUBROUTINAS

3.2.1 RUTINA DE OPERACIÓN PERMANENTE

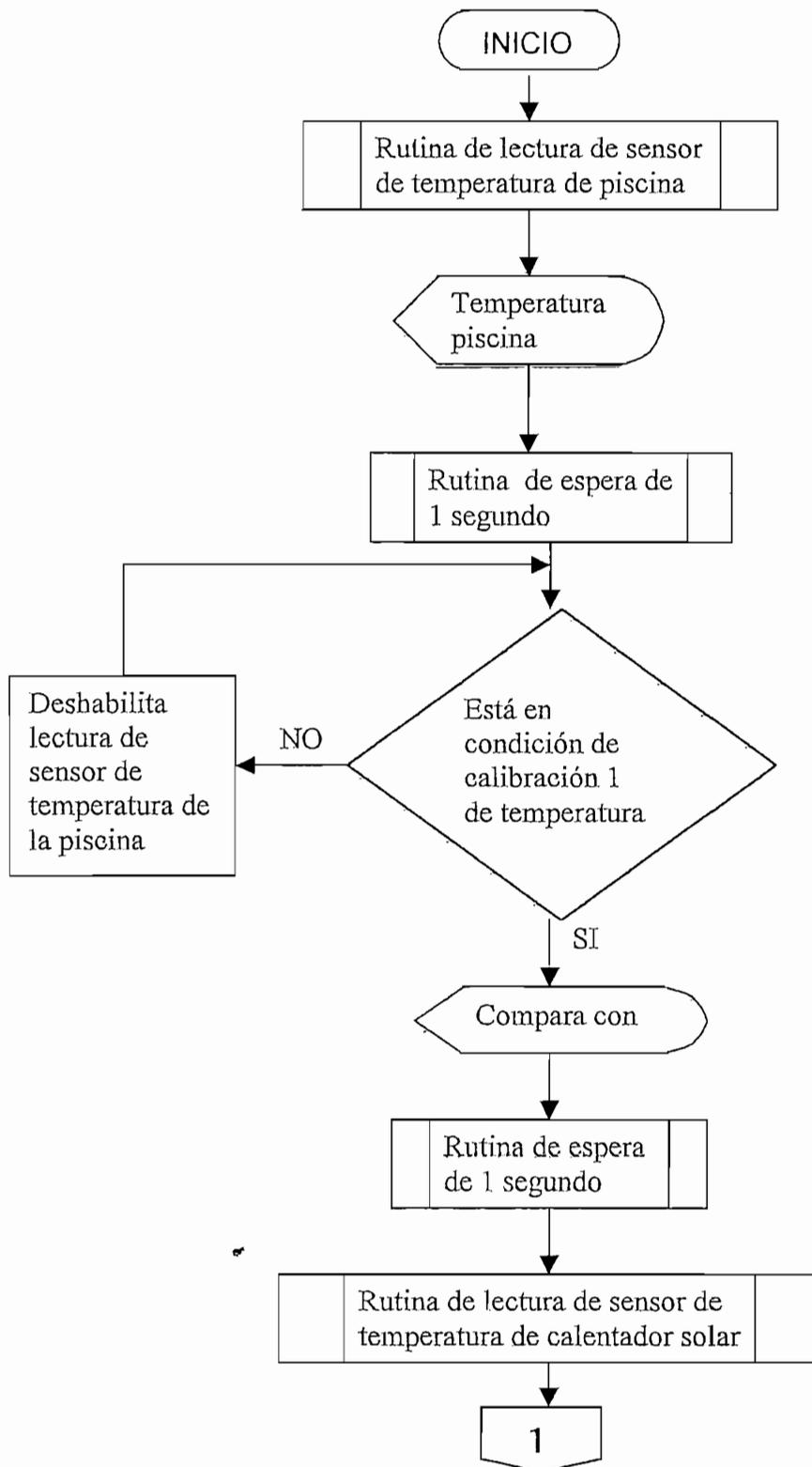


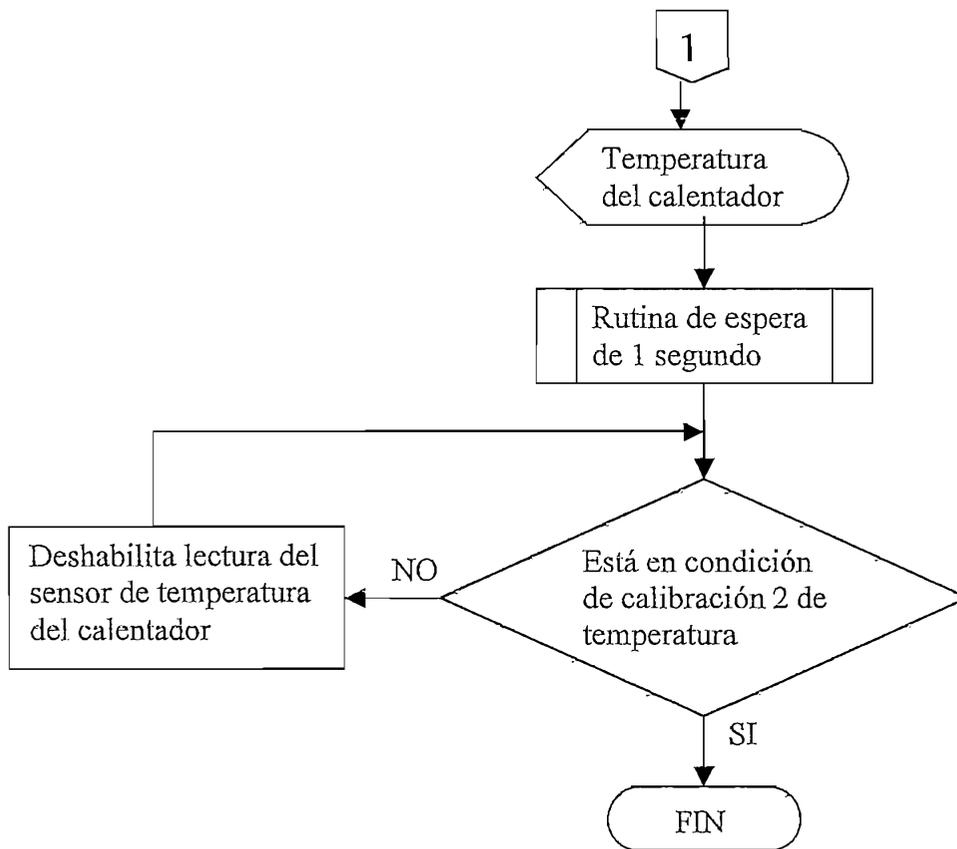


En la rutina de operación permanente, se prioriza el trabajo del sistema microcontrolado en el estado de activación o desactivación del sensor de nivel y a partir de su condición, enciende o apaga el relay del motor de la bomba, luego va a la lectura de datos analógicos con el objeto de comparar las temperaturas de los sensores del calentador y de la piscina, si entre ellos hay una diferencia de lectura donde la temperatura del calentador sea superior a la temperatura de la piscina en un valor mayor al rango establecido, entonces enciende el relay de la bomba y de la válvula, en caso contrario va al inicio de la rutina.

El sensor de nivel está incorporado en el sistema de demostración del laboratorio, para evitar el rebosamiento del agua en el tanque calentador.

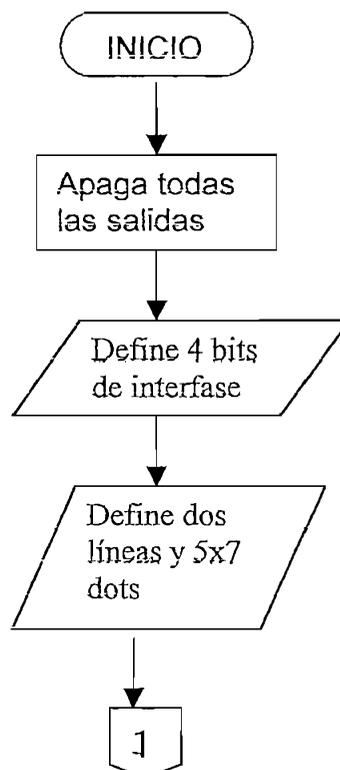
3.2.2 RUTINA PARA LEER DATOS DE ENTRADAS ANALÓGICAS

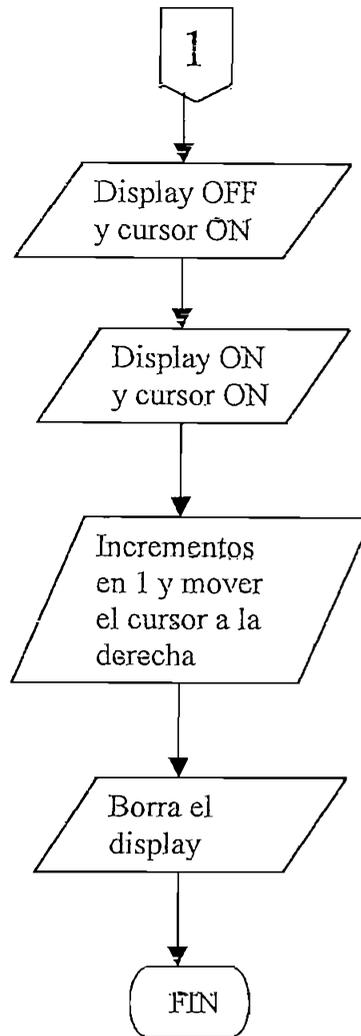




La rutina de lectura de datos de entradas analógicas accede a las lecturas de los valores de temperatura del sensor de temperatura de la piscina y del sensor de temperatura del calentador solar, muestra sus datos y cumple con los procesos de calibración .

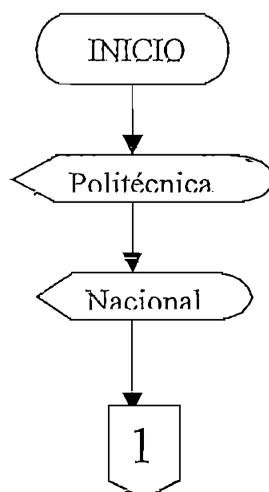
3.2.3 RUTINA DE INICIALIZACIÓN TEMPORIZADA DEL DISPLAY

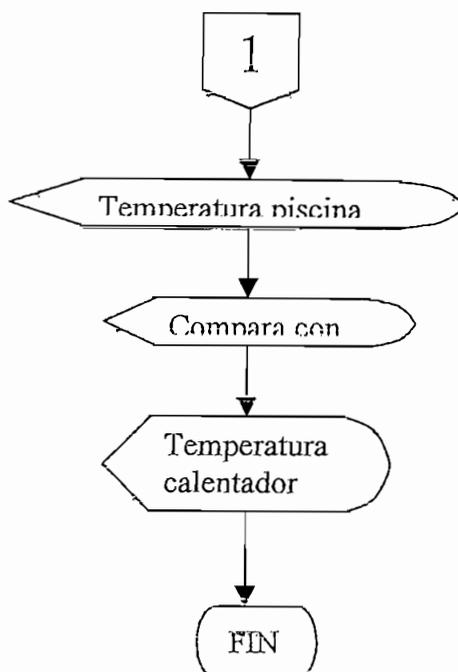




La rutina de inicialización temporizada del display apaga todas las salidas, define 4 bits de interface, dos líneas y 5x7 dots, actúa sobre el display y el cursor y borra el display. Durante estas acciones acude a las rutinas de retardo

3.2.4 ÁREA DE DEFINICIÓN DE MENSAJES FIJOS PARA EL DISPLAY





La rutina que cubre el área de mensajes fijos en el display, realiza el proceso de incluir los mensajes que van a aparecer en la pantalla del prototipo, durante su funcionamiento, ellos son:

Escuela Politécnica Nacional,

Temperatura piscina: °C

Compara con

Temperatura calentador: °C

3.3 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES

3.3.1 MODELO DE SIMULACIÓN PARA PROBAR EL PROTOTIPO EN LABORATORIO.

La prueba del prototipo se la realiza en Laboratorio. Para ello se utiliza un sistema de demostración simulada. El sistema está constituido por un circuito adicional montado en el prototipo y la parte externa, donde se simula el comportamiento real y la obtención de datos

En la figura N° 3.1 se aprecia la vista interior del prototipo cuando se ha agregado el circuito para el sistema de demostración. El contraste es notorio si se observa la figura N° 2.7 que muestra la vista interior del prototipo antes de ser incorporado el sistema de demostración. En la figura 3.1 destacan sobre todo los contactos del relevador ubicado en la esquina derecha, en la parte frontal de la fotografía. Estos contactos son los que se utilizan en el circuito de demostración para acceder al accionamiento del sensor de nivel y de la válvula solenoide, incorporados en la parte externa del sistema de demostración.

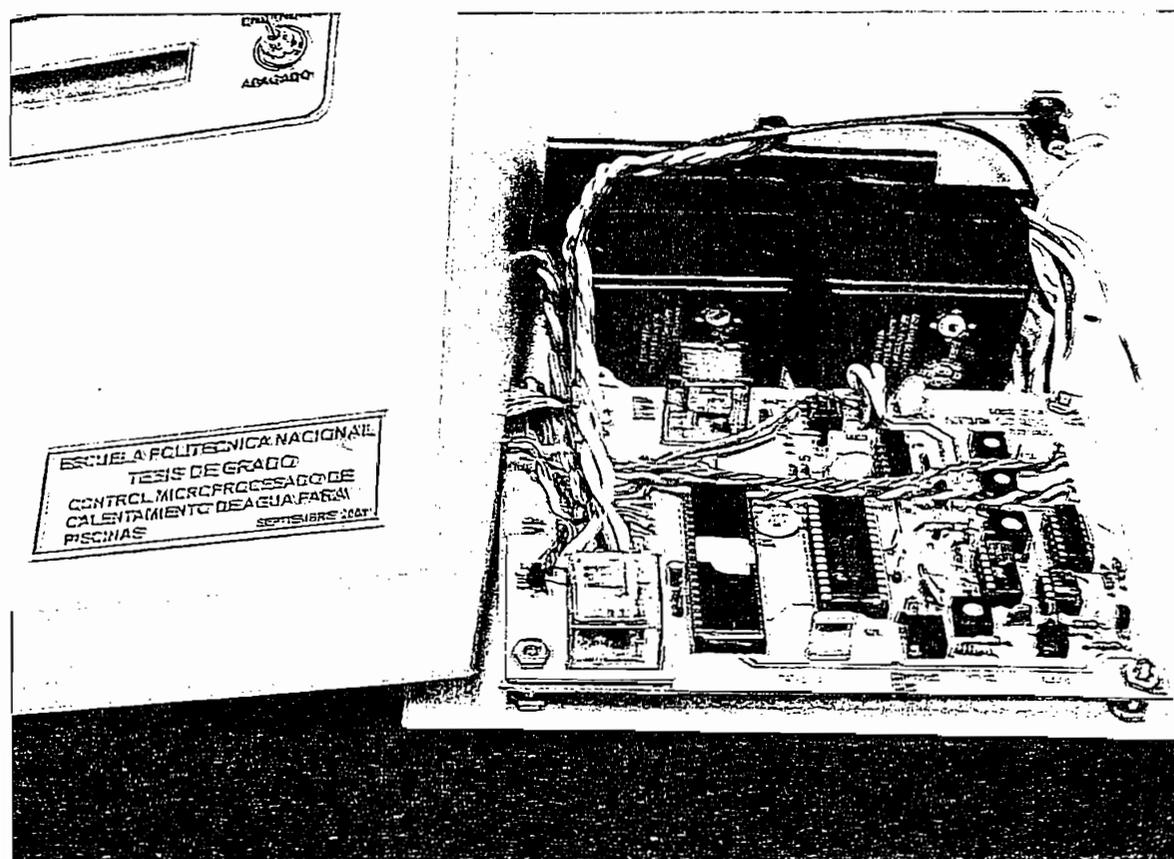


Figura N° 3.1 Vista interior del prototipo con incorporación del circuito para el sistema de demostración.

En la figura N° 3.2 se observa la vista externa posterior del prototipo con la incorporación central de los terminales para la conexión del sensor de nivel y de la válvula solenoide con los contactos del relevador del circuito del sistema de demostración. Esta figura contrasta con la figura N° 2.5 que muestra la vista externa posterior del prototipo antes de incorporar el sistema de demostración.

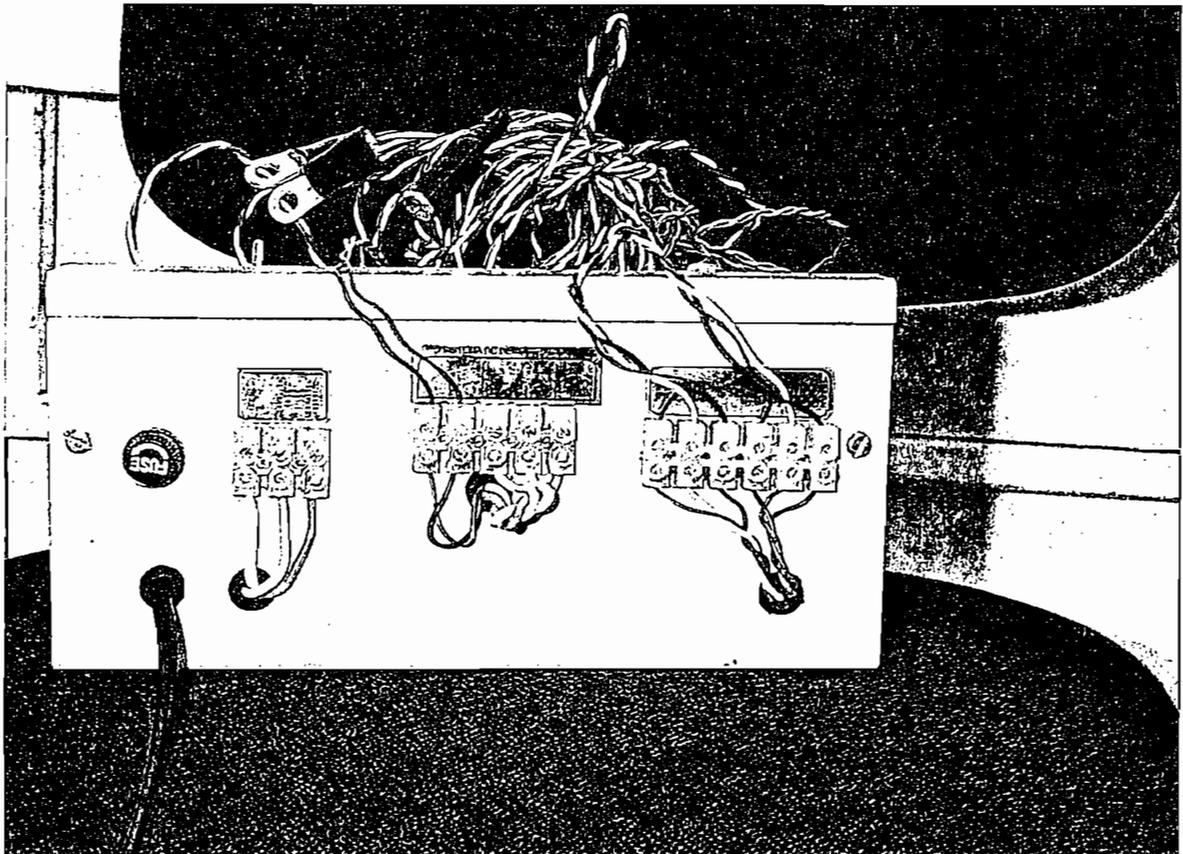


Figura N° 3.2 Vista posterior externa del prototipo donde se aprecia la incorporación de los terminales centrales para la conexión del sensor de nivel y la válvula solenoide.

En la figura N° 3.3 se aprecia la vista frontal panorámica del experimento instalado en el Laboratorio. En esta foto destacan el prototipo y los enchufes conectados a la alimentación central del laboratorio, a excepción del enchufe de la



Figura N° 3.3 Vista frontal del experimento para la prueba del prototipo

bomba La armazón de hierro sirve para sostener el tanque de calentamiento del agua, el control de temperatura del elemento calefactor y para guiar los cables de conexión, así como la tubería y elementos auxiliares de la circulación del agua desde la bomba de agua al tanque calentador , de éste a la piscina simulada y de ella a la bomba de agua.

En la figura N° 3.4, se observa la parte lateral del experimento, en ella destacan el tanque de calentamiento de agua ubicado en la parte superior y la piscina

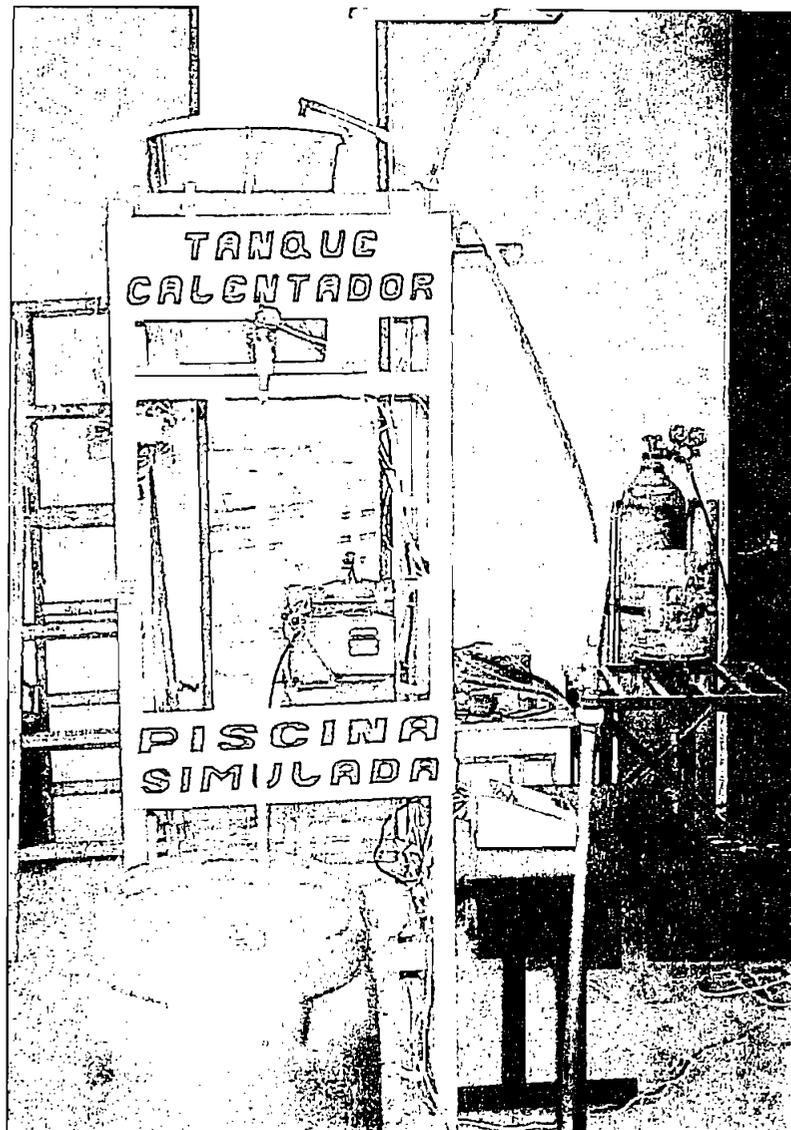


Figura N° 3.4 Vista lateral del experimento

simulada ubicada en la parte inferior. Se observan también las mangueras que van desde la bomba de agua, pasando por una válvula check, hasta el tanque de calentamiento y la que va desde el tanque de calentamiento pasando por la válvula solenoide, hasta la piscina simulada. También se puede mirar la cara lateral izquierda del prototipo.

En la Figura N° 3.5 se aprecia la parte posterior del experimento montado en el Laboratorio. Se observa el sistema de control de temperatura para el elemento

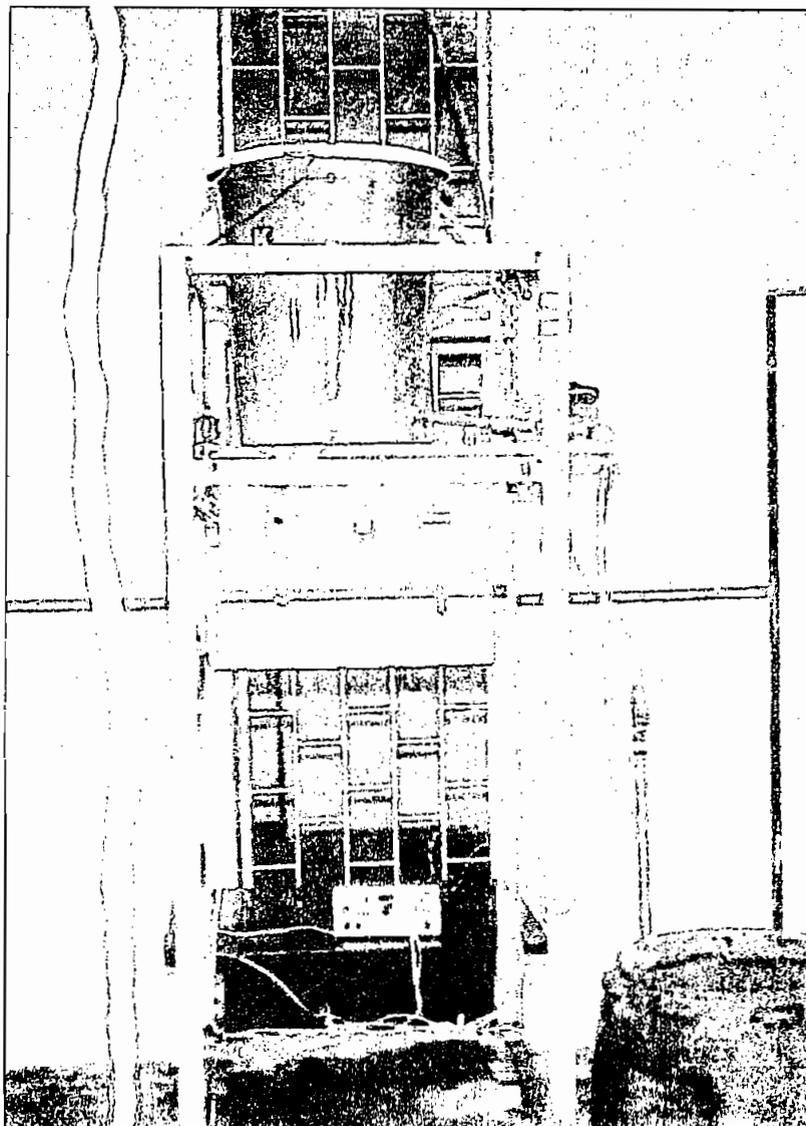


Figura N° 3.5 Vista posterior del experimento

calefactor, que está montado sobre un tablero de madera. También aparecen el tanque de calentamiento de agua, la piscina simulada, las tuberías de agua, la válvula check, la válvula solenoide y la parte posterior del prototipo, con sus cables de interconexión.

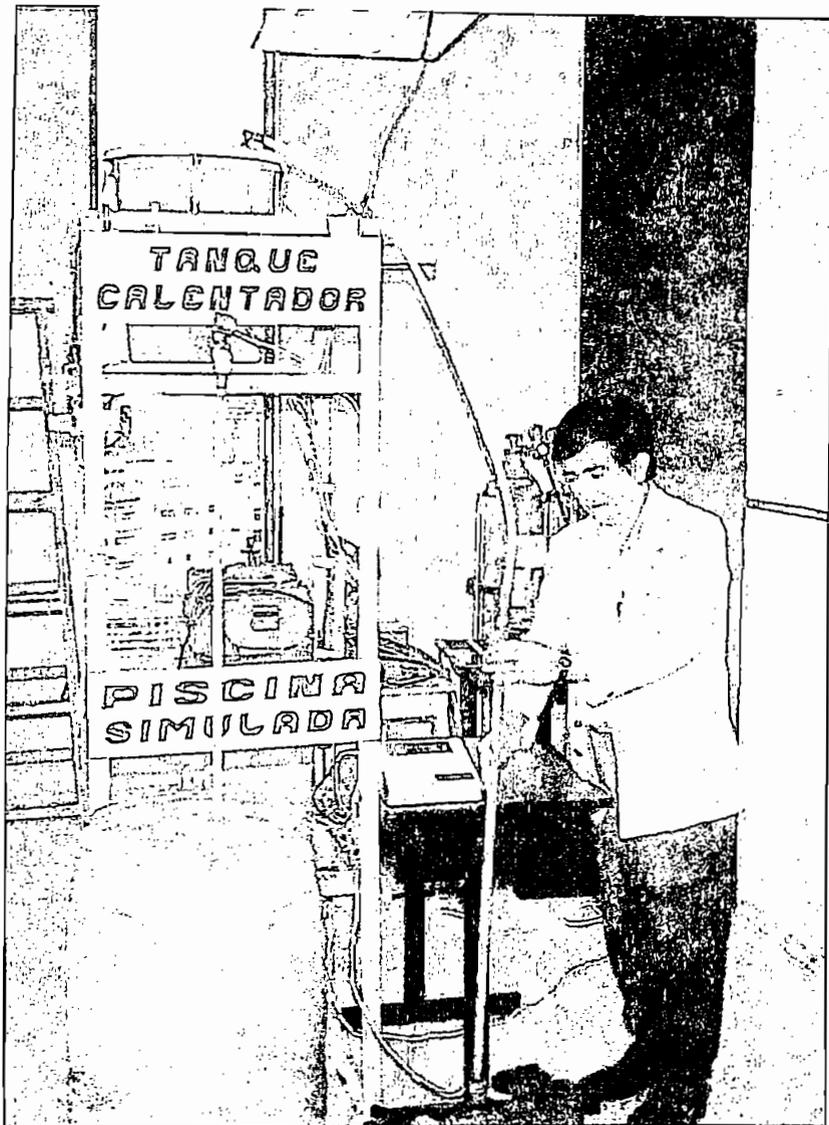


Figura N° 3.6 Vista panorámica completa del experimento

En la figura N° 3.6 se observa la vista panorámica del experimento y es de destacar la bomba de agua colocada en el piso, además de instalaciones ya mencionadas anteriormente.

La relación de nivel entre la piscina y el tanque calentador es de dos metros de altura.

con válvulas de estrangulación en la vía que viene desde la bomba al tanque calentador, para poder controlar el flujo del líquido.

5 Se ha colocado una válvula check en la vía que conduce el agua desde la bomba ubicada en un nivel inferior hasta el tanque calentador colocado a dos metros por arriba de la misma, para prevenir el retorno del agua sobre la bomba, desde el tanque calentador

6 En el sistema de demostración aumentan las inercias de temperatura, tanto por los recubrimientos necesarios para los sensores de temperatura, como por los elementos auxiliares que ha sido necesario ubicar en el sistema

3.3.3 FORMA DE OPERACIÓN

Una vez que se enciende el sistema, el elemento calefactor comienza a calentar el agua del tanque calentador, el display va señalando las diferentes temperaturas que muestran los sensores del tanque calentador y de la piscina simulada. Cuando existe una diferencia igual al rango establecido, entre la una temperatura y la otra, se activa la bomba y circula el agua desde el tanque calentador a la piscina, de la piscina a la bomba y de la bomba al tanque calentador, con lo cual se consigue que el agua de la piscina comience a calentarse. El elemento calefactor sigue calentando el agua del tanque calentador y el ciclo sigue produciéndose. El display va mostrando las lecturas de temperatura en los dos sensores y haciendo la comparación. Si en algún momento el tanque calentador alcanza el nivel máximo predeterminado de líquido, el sensor de nivel envía una señal que apaga la bomba de agua.

3.3.4 PRUEBAS REALIZADAS

Las pruebas efectuadas buscan comprobar las funciones que debe cumplir el prototipo. Se prueban las siguientes funciones:

1 El encendido del equipo. Al conectar todos los elementos del sistema, el equipo enciende correctamente.

2 La sensibilidad a la temperatura del sensor de temperatura del agua de la piscina y del sensor de temperatura del agua del tanque calentador, lo cual se prueba directamente durante el proceso de operación. Los sensores muestran un adecuado comportamiento.

3 La activación de la bomba de agua cuando el sensor de nivel señala el nivel máximo. Al probar el sensor de nivel sí activa a la bomba de agua ,cuando señala el nivel máximo del líquido en el tanque calentador

4 La activación de la bomba de agua cuando existe una diferencia de temperatura en que la temperatura del agua del calentador es mayor por lo menos en el valor del rango establecido, a la temperatura del agua de la piscina. Esta prueba también se la realiza debidamente.

5 La secuencia de lecturas en el display, donde debe aparecer las etiquetas de Escuela Politécnica Nacional, luego, Temperatura de la piscina con su valor leído por el sensor, después, la frase Compara con, y finalmente, la Temperatura del agua del tanque calentador leído por su sensor de temperatura, para luego repetir la secuencia. Esta prueba se realiza debidamente..

6 El encendido de los indicadores frontales. La prueba que se realiza visualmente, es correcta.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS ECONÓMICO, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 ANÁLISIS ECONÓMICO

4.1.1 COSTOS

4.1.1.1 Costos de elementos electrónicos

ELEMENTO	NUMERACIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (\$)	PRECIO TOTAL (\$)
Resistencia		25	0.07	1.75
Potenciómetro		7	0.30	2.10
Condensador		6	0.20	1.20
Diodo	1N4007	1	0.20	0.20
Diodo	4N26	1	0.20	0.20
Diodo LED		1	0.80	0.80
Transistor	2N4400	1	0.20	0.20
Transistor	2N3904	1	0.20	0.20
Transistor	2N3906	1	0.20	0.20
Transistor optoacoplador		1	1.00	1.00
Relevador		2	4.50	9.00
Regulador 2.5 V	LM336	1	0.60	0.60
Sensor de precisión de temperatura	LM335	2	4.00	8.00
Switch bilateral quad	4066	2	0.40	0.80
Amplificador operacional	TL084	4	0.60	2.40
Inversor	74S14	1	0.60	0.60
Convertidor analógico – digital	ADC0808	1	8.00	8.00
Microcontrolador	8751	1	30.00	30.00
Fuente de poder Entrada 110V/60Hz Salidas: +5V dc +12V dc -12V dc		1	19.00	19.00

4.1.1.2 Costos de accesorios

Circuito impreso (16cm x 12cm)	1	38.40	38.40
Circuito impreso (4cm x 5cm)	1	4.00	4.00
Chasis	1	15.00	15.00
Cable trifilar (por metro)	15	0.40	6.00
Cable multifilar # 16 (por metro)	15	1.00	15.00
Plugs	2	0.30	0.60
Placas de identificación	7	10.00	70.00
Instalaciones para demostración			65.00

4.1.1.3 Costos de investigación y desarrollo

Costos de investigación y desarrollo			75.00
--------------------------------------	--	--	-------

TOTAL

375.25

4.1.2 BENEFICIOS

1 Ahorro de consumo de energía eléctrica. El usuario solo enciende la bomba de agua en los momentos en que se justifica la circulación del agua para calentar el agua de la piscina. En los sistemas sin control microcontrolado la bomba de agua permanecía encendida todo el tiempo. Considerando el alto costo del Kilovatio-hora, se puede decir que el equipo devengaría su costo muy rápidamente y su uso sería de gran utilidad para las instituciones usuarias.

2 Ahorro de costo de personal. En los sistemas no automáticos era imprescindible la dedicación de varias personas al proceso de calentamiento del agua de la piscina. El prototipo permite una mayor autonomía en el proceso de calentamiento de agua de la piscina. El gasto de personal es representativo en las

ANEXO A: Programa para control de sistema de bomba de piscina con calentamiento solar

*** Programa para control de sistema de bomba de piscina con
*** calentamiento solar

*** Julio del 2001

*** Programa para microcontrolador 8751H

*** Compilado con CYS8051

El sistema controla:

- 1.- 2 Entradas analógicas convertidas con ADC0808 con rango completo de 0 a +5VDC
- 2.- 1 display de una línea de 16 caracteres
- 3.- 1 Salida optoacoplada con relay para control de bomba



ACTUALIZACIONES

Enero 21 del 2002

Se aumenta los circuitos de entrada de señal de un sensor horizontal de nivel y manejo de una bomba para efectos de simulación de la operación en los laboratorios de la Politécnica.



.....

instituciones turísticas o aquellas que disponen de piscinas temperadas por fines recreativos

3 Costos bajos de mantenimiento, al no estar sometido a condiciones de funcionamiento crítico en el caso de un sistema con calentamiento solar, el equipo tendría menor desgaste

4 Mayor duración para el equipo, debido a la resistencia mecánica externa, lograda con la consistencia del chasis, lo que constituye una protección para el equipo.

5 Protección antiestática, es otra garantía de duración que se traduce en beneficio económico al dar protección eléctrica al equipo.

4.2 CONCLUSIONES DEL TRABAJO DESARROLLADO

1. Siendo la medida de la temperatura una constante preocupación en los diferentes procesos industriales, se ha pasado históricamente del uso de los termostatos incorporados a los artefactos eléctricos (bimetálicos), hasta los modernos sistemas de control de laboratorio cuya precisión supera la milésima de grado en los termómetros eléctricos. El uso de la electrónica ha desplazado casi por completo a los sistemas mecánicos de medición de temperatura.

2. Los sistemas utilizados en el control de temperatura son de lo más diversos, entre ellos, los de alta integración para sistemas de monitoreo en actividades industriales de alto riesgo y los utilizados en aplicaciones en la vida diaria donde la precisión acepta un rango de error de $\pm 5\%$

3. En la construcción del prototipo se ha tomado en cuenta estos requisitos. En él destacan características como las siguientes: los sensores son sensibles y de respuesta lineal, y sirven perfectamente para las medidas con una precisión moderada y aplicaciones de compensación de temperatura. Además se adaptan

con menos complejidad a los conversores analógico-digitales (ADC). Por otro lado, se aprovecha al máximo las ventajas que ofrece el microcontrolador.

4. El uso del sensor LM335 de alta linealidad en los rangos de temperatura aplicables en este diseño, es totalmente superior si se compara con otros componentes de alta sensibilidad como las termocuplas de platino que presentan dificultades para alcanzar un comportamiento de linealidad en todo el rango especificado, incluso con el manejo de circuitos electrónicos para poder acoplar la termocupla al equipo.

5. El uso de el LM335 presenta mayores facilidades y posibilidades de ajuste, lo que permite crear una función que relacione la salida con la entrada compuesta con una serie de segmentos lineales que se aproximan a la curva requerida por el diseño del proyecto, para ser procesado por el resto de componentes del circuito propuesto y con ello evitar una serie de inconvenientes en el proceso de digitalización de la medida de temperatura.

6. Se pudo probar la bondad del equipo cuando fue necesario crear otro circuito para el sistema de demostración y se pudo aprovechar puertos del microcontrolador que estaban disponibles, lo que significa que el equipo tiene versatilidad de uso

4.3 RECOMENDACIONES

1. Estando el país en un esfuerzo de modernizar las instalaciones turísticas, es recomendable automatizar las instalaciones y entre ellas las de calentamiento de piscinas.

2. El esfuerzo antes señalado unido al uso de energías alternativas como la energía solar, pone en unidad de intereses el ahorro de recursos y la eficiencia de los equipos utilizados.

3. Si bien el equipo ha sido utilizado para el calentamiento de agua de piscinas basado en la diferencia de temperaturas, también se puede dar otras aplicaciones creativas al uso del prototipo, como son aplicaciones domésticas e industriales.
4. Se puede mejorar el prototipo incrementando los servicios del mismo con el aprovechamiento de todas las posibilidades que ofrece el microcontrolador.
5. El desarrollo del país dirigido en función del turismo, puede justificar una producción masiva de equipos como el propuesto en esta tesis.

BIBLIOGRAFÍA

- GONZÁLEZ VÁSQUEZ, José Adolfo. "Introducción a los Microcontroladores 8X51 y 8X52: hardware, software y aplicaciones". Editorial McGraw Hill. Año 1992.
- PRIMER ENCUENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE ENERGÍAS NO CONVENCIONALES, 22 al 24 de febrero de 1984. Instituto Nacional de Energía, en coordinación con el Instituto de Tecnología Alternativa. Quito-Ecuador.
- PRIMERAS JORNADAS DE ENERGÍA SOLAR EN EL ECUADOR. 25 al 29 de junio de 1984. Organización y coordinación del Instituto Nacional de Energía y Colegio de Arquitectos de Ecuador, núcleo de Pichincha. Quito-Ecuador.
- CONSIDINE, Douglas. "Tecnología de las Energías: solar, hidráulica, geotérmica y combustibles químicos". McGraw – Hill Inc. Año 1977
- ENERGÍA SOLAR TÉRMICA. Manual de Energía Renovable /1. Secretaría General de la Energía y Recursos Minerales, Instituto de la diversificación y ahorro de la Energía. Ministerio de Industria Comercio y Turismo de España.
- ENERGÍA SOLAR. Folleto publicado por el Ministerio de Energía y Minas y la Dirección de Energías alternativas.
- BALSECA, Milton Ing. "Situación actual y perspectivas de las tecnologías de aprovechamiento de las FENRs en el Ecuador". Sociedad de Ingenieros del Ecuador - Zona Norte. Año 1997.

```
000F=      rangfo      equ  15      Rango de temperatura de 3 grados
                para prender la bomba
```

ÁREA DE LOCALIZACIÓN DE RAM

```
0040 =      control      equ  40H
0041 =      dato_anal    equ  41H
0042 =      tem_solar    equ  42H
0043 =      tem_pisci    equ  43H
0044 =      data_dis     equ  44H
0045 =      cien         equ  45H
0050 =      inicio_d     equ  50H  Área de RAM para manejo de display
                hasta          5FH
```

Dirección de inicio del programa con HARDWARE - RESET

```
0000      org          0H
0000 020020 h_reset:   ljmp   programa
```

Área de entrada de interrupciones generales

```
0003      org          03H
0003 020122 ljmp fin_conversion      Va a rutina de lectura del conversor
```

```
0020      org          20H
programa:
0020 75812F mov          SP,#stack      Inicializa el SP con STACK(30)
```

```

0023 758901 mov      TMOD,#01H
0026 75A000 mov      P2,#0
0029 C2A5   clr      Válvula      Apaga la Válvula
002B C290   clr      relay        Apaga el relay del motor
002D 120127 lcall   init_display
0030 D2AF   setb     EA

```

Rutina de operación permanente

main:

```

0032 1201C0 lcall   Politecnica_disp  Muestra en display Politecnica
0035 12023A lcall   display
0038 120271 lcall   del_1seg
003B 1201C5 lcall   Nacional_disp
003E 12023A lcall   display
0041 120271 lcall   del_1seg
0044 20B305 jb      Nivel,Prender_motor
0047 C290   clr      Relay        Apaga el relay del motor
0049 02004E ljmp    0Seguir_1

```

Prender_motor:

```

004C D290   setb    Relay

```

Seguir_1:

```

004E 12006F lcall   leer_analógicas  Va a rutina de lectura de datos

```

```

                                de los sensores de temperatura
0051 E542   mov    A,tem_solar   Verifica si la temperatura del calentador
                                mayor en RANGO que la de la piscina
                                para prender el relay
0053 C3     clr    C
0054 C2D6   clr    AC
0056 9543   subb   A,tem_pisci
0058 C2D6   clr    AC
005A 400B   jc     tem_menor   La temperatura de la piscina es mayor
                                que la del calentador solar
005C 940F   subb   A,#rango     La temperatura del calentador es mayor
                                que la de la piscina, pero tiene que ser
                                mayor en una cantidad superior al RANGO
005E C2D6   clr    AC
0060 4005   jc     tem_menor
0062 D2A5   setb   Válvula     Prende el relay de la Válvula
0064 020032 ljmp   main

```

tem_menor:

```

0067 C3     clr    C
0068 C2D6   clr    AC
006A C2A5   clr    Válvula     Apaga el relay de la válvula
006C02003  ljmp   main

```

Rutina para leer datos de entradas analógicas

leer_analogicas:

```

006F 120095 lcall  leer_sen_pisi   Va a rutina de lectura de sensor de
                                la piscina
0072 120102 lcall  mostrar        Muestra en el display la temperatura
0075 120271 lcall  del_1seg       Llama a rutina de espera de 1 segundo
0078 30B4F4 jnb   calibra_1,leer_analogicas  Verifica si está en condicion

```

```

de calibracion de temperatura
007B C2A7  clr  sen_pisi      Deshabilita la lectura del sensor de
                                temperatura de la piscina
007D 1201CF lcall  Compara_disp
0080 12023A lcall  display
0083 120271 lcall  del_1seg
leer_sensor2:
0086 1200AD lcall  leer_sen_solar  Identico que en el caso anterior
0089 120102 lcall  mostrar
008C 120271 lcall  del_1seg
008F 30B5F4 jnb   calibra_2,leer_sensor2
0092 C2A6  clr  sen_solar
0094 22    ret

```

```

leer_sen_pisi:
0095 C2A0  clr  add_0      Pone la dirección del multiplexer del
0097 C2A1  clr  add_1      conversor analógico
0099 C2A2  clr  add_2
009B D2A7  setb sen_pisi   Habilita la lectura del sensor de la
009D 120271 lcall  del_1seg     piscina
00A0 1201CA lcall  sen_pis_disp  Pone en area de display el letrero de
00A3 12023A lcall  display     temperatura de la piscina
00A6 1200C5 lcall  leer_total   Llama a rutina de lectura del sensor
00A9 854143 mov  tem_pisci,dato_anal  Guarda el dato leído
00AC 22    ret

```

```

leer_sen_solar:
00AD C2A0  clr  add_0      Pone la direccion del multiplexer del
00AF C2A1  clr  add_1      conversor analógico
00B1 C2A2  clr  add_2

```

00B3	D2A6	setb	sen_solar	Habilita la lectura del sensor del
00B5	120271	lcall	del_1seg	calentador solar
00B8	1201D4	lcall	sen_sol_disp	Pone en area de display el letrero de
00BB	12023A	lcall	display	temperatura del calentador solar
00BE	1200C5	lcall	leer_total	Llama a rutina de lectura del sensor
00C1	854142	mov	tem_solar,dato_anal	Guarda el dato leído
00C4	22	ret		

leer_total:

00C5	120106	lcall	leer_canal	Llama a la rutina de lectura del canal escogido
00C8	8541F0	mov	B,dato_anal	Rutina para convertir valor hexadecimal en decimal de 3 dígitos
00CB	E5F0	mov	A,B	En dato_anal viene el valor en
00CD	754500	mov	cien,#0	hexadecimal y se debe mostrar con un
00D0	6011	jz	sigue_dos	decimal
00D2	C3	clr	C	
00D3	C2D6	clr	AC	
00D5	E4	clr	A	
sumar_uno:				
00D6	2402	add	A,#2	Puesto que la máxima lectura
00D8	D4	da	A	equivale a 50.0 grados o sea 500
00D9	5005	jnc	sigue_uno	posiciones, pero el conversor entrega
00DB	0545	inc	cien	hasta 255 bits, será necesario sumar 2
00DD	C3	clr	C	unidades decimales por cada bit de
00DE	C2D6	clr	AC	lectura
sigue_uno:				
00E0	D5F0F3	djnz	B,sumar_uno	
sigue_dos:				
00E3	F5F0	mov	B,A	En el ACC viene el valor decimal
00E5	785C	mov	R0,#(inicio_d+12)	que debe mostrarse en el display
00E7	540F	ani	A,#0FH	Para esto se utilizan los dígitos

```

00E9 4430    orl    A,#30H           9 a 12 incluido el de la coma
00EB F6      mov    @R0,A
00EC 785B    mov    R0,#(inicio_d+11)
00EE 762C    mov    @R0,#','
00F0 E5F0    mov    A,B
00F2 C4      swap  A
00F3 785A    mov    R0,#(inicio_d+10)
00F5 540F    anl    A,#0FH
00F7 4430    orl    A,#30H
00F9 F6      mov    @R0,A
00FA 7859    mov    R0,#(inicio_d+9)
00FC E545    mov    A,cien
00FE 4430    orl    A,#30H
0100 F6      mov    @R0,a
0101 22      ret

```

mostrar:

```

0102 12023A  lcall  display          Llama a rutina que pasa los datos al
0105 22      ret                    display

```

leer_canal:

```

0106 D2A3    setb   start           Arranca al conversor
0108 00      NOP                    Genera un pequeño delay para que el
0109 00      NOP                    pulso tenga un periodo suficiente para el
010A 00      NOP                    conversor
010B 00      NOP
010C C2A3    clr    start           Termina el pulso
010E D2A8    setb   EX0             Espera para que el conversor termine
0110 C3      clr    C               la conversión y genere un end of
0111 50FE    jnC   $               conversion captado p.or la interrupción

```

```

0113 C2A8   clr     EX0           EX0 del micro. Deshabilita la interrupción
sale_conversion:
0115 D2A4   setb   out_ena        Habilita la salida de datos del
0117 00     NOP                    conversor. Genera un pulso
0118 00     NOP
0119 00     NOP
011A 00     NOP
011B C2A4   clr     out_ena        Termina el pulso
011D E580   mov    A,datos        Lee el valor del conversor
011F F541   mov    dato_anal,A    y los guarda en dato_anal para su uso
0121 22     ret                    en las rutina de muestra y calculos

```

fin_conversion:

```

0122 D3     setb   C              Subrutina de atención a la interrupción que
0123 30B2FD jnb    end_of_con,$   genera el conversor cuando termina la
0126 32     reti                    conversión y tiene los datos de la última
                                lectura, listos para enviar

```

Rutina de inicialización temporizada del display

init_display:

```

0127 120285 lcall  del_20mili
012A 759000 mov    port_dis,#0H   Apaga todas las salidas incluido el relay
012D D293   setb   ena
012F 439030 orl    port_dis,#30H
0132 C293   clr    ena
0134 120295 lcall  del_10mili
0137 D293   setb   ena
0139 439030 orl    port_dis,#30H
013C C293   clr    ena
013E 1202A5 lcall  del_150micro
0141 D293   setb   ena

```

```

0143 439030 orl    port_dis,#30H
0146 C293   clr    ena
0148 1202A5 lcall  del_150micro
014B D293   setb   ena
014D 5390EF anl    port_dis,#0EFH Define 4 bits de interface
0150 C293   clr    ena
0152 1202A5 lcall  del_150micro
0155 1202A5 lcall  del_150micro
0158 754428 mov    data_dis,#28H Define dos lineas y 5x7 dots
015B 12018F lcall  saca
015E 1201B9 lcall  clrD
0161 1202A5 lcall  del_150micro
0164 75440A mov    data_dis,#0AH  Pone display OFF y curson ON
0167 12018F lcall  saca
016A 1201B9 lcall  clrD
016D 75440E mov    data_dis,#0EH  Pone display y cursor ON
0170 12018F lcall  saca
0173 1201B9 lcall  clrD
0176 754406 mov    data_dis,#06H  Pone incrementos en 1 y mover el cursor
0179 12018F lcall  saca          a la derecha
017C 120183 lcall  clrDIS      Borra el display
017F 1202A5 lcall  del_150micro
0182 22     ret

```

clrdis:

```

0183 1201B9 lcall  clrd          Rutina para borrar el display
0186 D293   setb   ena
0188 754401 mov    data_dis,#01H
018B 12018F lcall  saca
018E 22     ret

```

saca:

```

018F 1202A5    lcall  del_150micro    ;Rutina para sacar datos que
viene en
0192 53900F    anl    port_dis,#0FH    ;data_dis al area de display
0195 E544      mov    A,data_dis      Como estamos trabajando con una
                                interface de 4 bits, se debe mandar
0197 54F0      anl    A,#0F0H        primero los 4 nibles menos significativos
0199 4290      orl    port_dis,A      y luego los más significativos
019B D293      setb  ena
019D C292      clr   r_w
019F 1202B7    lcall  del_100micro
01A2 C293      clr   ena
01A4 1202B7    lcall  del_100micro
01A7 E544      mov    A,data_dis
01A9 C4        swap  A
01AA 54F0      anl    A,#0F0H
01AC 53900F    anl    port_dis,#0FH
01AF 4290      orl    port_dis,A
01B1 D293      setb  ena
01B3 1202B7    lcall  del_100micro
01B6 C293      clr   ena
01B8 22        ret

```

```

01B9 C291    clrd:  clr   rs        Baja las señales de control del display
01BB C292      clr   r_w
01BD C293      clr   ena
01BF 22        ret

```

Área de definición de letreros fijos para el display
 Politecnica_disp:

```

01C0 7900      mov   R1,#00H
01C2 0201D9    ljmp  sacle
           Nacional_disp:
01C5 7910      mov   R1,#10H
01C7 0201D9    ljmp  sacle
           sen_pis_disp:
01CA 7920      mov   R1,#20H
01CC 0201D9    ljmp  sacle
           Compara_disp:
01CF 7930      mov   R1,#30H
01D1 0201D9    ljmp  sacle
           sen_sol_disp:
01D4 7940      mov   R1,#40H
01D6 0201D9    ljmp  sacle

```

```

01D9 E9      sacle:   mov   A,R1           Dirección del letrero
01DA 2409    add           A,#09H       Constante del Program counter
01DC F9      mov   R1,A
01DD 7850    mov   R0,#inicio_d   Dirección inicial del buffer de
display
01DF E9      l1:     mov   A,R1           Pon la dirección del caracter
01E0 83      movc  A,@A+PC        Lee el caracter de la tabla
01E1 F6      mov   @R0,A         Lo guarda en el buffer del display
01E2 08      inc   R0
01E3 09      inc   R1
01E4 E8      mov   A,R0
01E5 6460    xrl   A,#(inicio_d+16) En total debe leer 16
                                     caracteres
01E7 70F6    jnz   l1
01E9 22      ret

```

```

01EA 45 53 43 display_01:DB 'ESC. POLITECNICA'
01ED 2E 20 50 4F 4C 49 54 45 43 4E
01F7 49 43 41
01FA 20 20 20 display_02:DB ' NACIONAL '
01FD 20 4E 41 43 49 4F 4E 41 4C 20
0207 20 20 20
020A 54 65 6D display_03:DB 'Tem.Pisc. BC'
020D 2E 50 69 73 63 2E 20 20 20 20
0217 20 DF 43
021A 43 6F 6D display_04:DB 'Compara con: '
021D 70 61 72 61 20 63 6F 6E 3A 20
0227 20 20 20
022A 54 65 6D display_05:DB 'Tem.Calen BC'
022D 2E 43 61 6C 65 6E 20 20 20 20
0237 20 DF 43

```

display:

```

023A 1201B9 lcall clrd
023D 754480 mov data_dis,#80H   Pone la dirección 00 del display
0240 12018F lcall saca
0243 7850   mov R0,#inicio_d   Ubica la dirección de inicio del
                                display

```

cont_espe:

```

0245 7E08   mov R6,#num_car   Define la cantidad de caracteres
                                que puede manejar en esta área

```

otro:

```

0247 120260 lcall otro       Llama a rutina que manda el caracter
024A 08     inc R0           al display

```

```
024B DEFA      djnz R6,cotro
```

```
    segunda_mitad:
```

```
024D 1201B9    lcall clrd
```

```
0250 7544C0    mov  data_dis,#0C0H      Pone la direccion 40 del display
```

```
0253 12018F    lcall saca
```

```
0256 7E08      mov  R6,#num_car
```

```
    cotro1:
```

```
0258 120260    lcall otro
```

```
025B 08        inc  R0
```

```
025C DEFA      djnz R6,cotro1
```

```
    sale_disp:
```

```
025E C3        clr  C          Borra el carry para control de salida
```

```
025F 22        ret
```

```
*****
```

```
    otro:
```

```
0260 D291      setb rs          Realiza el control del protocolo
```

```
0262 C292      clr  r_w        de comunicación con el display
```

```
0264 C293      clr  ena        Cargando el valor del ACC en el display
```

```
0266 D293      setb ena
```

```
0268 E6        mov  A,@R0
```

```
0269 F544      mov  data_dis,A
```

```
026B 12018F    lcall saca
```

```
026E C291      clr  rs
```

```
0270 22        ret
```

```
*****
```

```
    del_1seg:
```

```
Rutina de retardo de 1 segundo
```

```
1 CM=1 Useg
```

```
1 seg = 1'000.000 CM
```

```
1'000.000 / 65536 = 15 + 16.960
```

65536 - 16.960 = 48.576 ==> BDC0h

```
0271 7F10      mov  R7,#16
0273 758CBD    mov  TH0,#0BD0H
0276 758AC0    mov  TL0,#0C0H
0279 D28C      setb TR0
```

lazo_1seg:

```
027B 308DFD    jnb  TF0,$
027E C28D      clr  TF0
0280 DFF9      djnz R7,lazo_1seg
0282 C28C      clr  TR0
0284 22        ret
```

del_20mili:

Rutina de retardo de 20 milisegundos

1 CM=1 Useg

20 Mseg = 20.000 CM

65536 - 20000 = 45.536 ==> B1E0h

```
0285 758CB1    mov  TH0,#0B1H
0288 758AE0    mov  TL0,#0E0H
028B D28C      setb TR0
028D 308DFD    jnb  TF0,$
0290 C28D      clr  TF0
0292 C28C      clr  TR0
0294 22        ret
```

del_10mili:

Rutina de retardo de 10 milisegundos

1 CM=1 Useg

10 Mseg = 10.000 CM

65536 - 10000 = 55.536 ==> D8F0h

```

0295 758CD8    mov  TH0,#0D8H
0298 758AF0    mov  TL0,#0F0H
029B D28C      setb TR0
029D 308DFD    jnb  TF0,$
02A0 C28D      clr  TF0
02A2 C28C      clr  TR0
02A4 22        ret

```

del_150micro:

Rutina de retardo de 150 microsegundos

1 CM=1 Useg

150 micro = 150 CM

65536 - 150 = 65.386 ==> FF6Ah

```

02A5 758CFF    mov  TH0,#0FFH
02A8 758A6A    mov  TL0,#6AH
02AB D28C      setb TR0
02AD 308DFD    jnb  TF0,$
02B0 C28C      clr  TR0
02B2 C28D      clr  TF0
02B4 C28C      clr  TR0
02B6 22        ret

```

del_100micro:

Rutina de retardo de 100 microsegundos

1 CM=1 Useg

100 micro = 100 CM

65536 - 100 = 65.386 ==> FF9Ch

```

02B7 758CFF    mov  TH0,#0FFH
02BA 758A9C    mov  TL0,#9CH
02BD D28C      setb TR0
02BF 308DFD    jnb  TF0,$
02C2 C28C      clr  TR0
02C4 C28D      clr  TF0
02C6 C28C      clr  TR0
02C8 22        ret

```

```

0000          END
; %T Symbol Name   Type Value
ADD_0 . . . . . I 00A0
ADD_1 . . . . . I 00A1
ADD_2 . . . . . I 00A2
CALIBRA_1 . . . . . I 00B4
CALIBRA_2 . . . . . I 00B5
CIEN. . . . . I 0045
CLOCK. . . . . I 00A5
CLR. . . . . L 01B9
CLRDIS. . . . . L 0183
COMPARA_DISP. . . . . L 01CF
CONTROL . . . . . I 0040
CONT_ESPE . . . . . L 0245
COTRO . . . . . L 0247
COTRO1. . . . . L 0258
DATA_DIS. . . . . I 0044
DATOS . . . . . I 0080
DATO_ANAL . . . . . I 0041

```

DEL_100MICRO. L 02B7
 DEL_10MILI. L 0295
 DEL_150MICRO. L 02A5
 DEL_1SEG. L 0271
 DEL_20MILI. L 0285
 DISPLAY. L 023A
 DISPLAY_01. L 01EA
 DISPLAY_02. L 01FA
 DISPLAY_03. L 020A
 DISPLAY_04. L 021A
 DISPLAY_05. L 022A
 DISP_B4. I 0094
 DISP_B5. I 0095
 DISP_B6. I 0096
 DISP_B7. I 0097
 ENA. I 0093
 END_OF_CON. I 00B2
 FIN_CONVERSION. L 0122
 H_RESET. L 0000
 INICIO_D. I 0050
 INIT_DISPLAY. L 0127
 L1. L 01DF
 LAZO_1SEG. L 027B
 LEER_ANALOGICAS. L 006F
 LEER_CANAL. L 0106
 LEER_SENSOR2. L 0086
 LEER_SEN_PISI. L 0095
 LEER_SEN_SOLAR. L 00AD
 LEER_TOTAL. L 00C5
 MAIN. L 0032
 MOSTRAR. L 0102
 NACIONAL_DISP. L 01C5
 NIVEL. I 00B3

NUM_CAR.....	I 0008
OTRO.....	L 0260
OUT_ENA.....	I 00A4
POLITECNICA_DISP.....	L 01C0
PORT_DIS.....	I 0090
PRENDER_MOTOR.....	. L 004C
PROGRAMA.....	. L 0020
RANGO.....	I 000F
RELAY.....	I 0090
RS.....	I 0091
R_W.....	I 0092
SACA.....	L018F.
SACLE.....	L 01D9
SALE_CONVERSION.....	L 0115
SALE_DISP.....	L 025E
SEGUIR_1.....	.. L 004E
SEGUNDA_MITAD.....	L 024D
SEN_PISI.....	I 00A7
SEN_PIS_DISP.....	L 01CA
SEN_SOLAR.....	I 00A6
SEN_SOL_DISP.....	L 01D4
SIGUE_DOS.....	L 00E3
SIGUE_UNO.....	L 00E0
STACK.....	I 002F
START.....	I 00A3
SUMAR_UNO.....	L 00D6
TEM_MENOR.....	L 0067
TEM_PISCI.....	. I 0043
TEM_SOLAR.....	I 0042
VÁLVULA.....	I 00A5

%Z

00 Errors (0000)

ANEXO B: MANUAL DE USO DEL EQUIPO

INSTALACIÓN

1 Instale el sensor de temperatura del calentador solar, de forma que quede en contacto con el calentador solar utilizando el terminal que puede ser ajustado mediante un perno. Para identificar su cable guíese por la placa de identificación ubicada en la parte posterior y que señala SENSOR CALENTADOR, desde cuyos puntos de conexión sale un cable trifilar

2 Instale el sensor de temperatura de la piscina, de forma que pueda sentir la temperatura del agua utilizando el terminal que puede ajustarse mediante un perno a una placa metálica ubicada en la pared de la piscina de forma que el sensor no toque directamente el agua. Para identificar su cable guíese por la placa ubicada en la parte posterior y que señala SENSOR PISCINA, desde cuyos puntos de conexión sale un cable trifilar

3 Instale uno de los cables de la bomba (no el cable de tierra) , abriéndole a la manera como se instala un interruptor y con las dos puntas del cable haga la conexión a los contactos común y normalmente abierto que están ubicados al otro extremo de los puntos de conexión de los sensores de temperatura, también en la parte posterior del equipo. .Previamente debe revisar el buen funcionamiento de la bomba de agua, observando si la circulación del agua entre el calentador solar y la piscina es facilitada por la acción de la bomba de agua, antes de realizar la conexión de la bomba de agua, debe apagarla y desenchufarla, para reconectarla a la fuente de energía cuando haya efectuado las instalaciones indicadas

4 Conecte la bomba de agua y el equipo a sus respectivas tomas de alimentación. El equipo requiere 110V/60 Hz

5 Haga una última revisión de conexiones y encienda el equipo y la bomba de agua

6 Revise las lecturas iniciales del equipo y la secuencia de los mensajes en pantalla

PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

Equipo requerido

1 Voltímetro digital

1 Destornillador plano fino

1 Termómetro de columna de mercurio

Paso 1: Calibración de la referencia

Se debe medir el voltaje en el punto de medición A y ajustar el potenciómetro REF1 hasta conseguir exactamente 2.73 voltios.

Paso 2: Calibración de los sensores

Se deben ajustar el voltaje del sensor seleccionado en el punto F o G según sea el caso, a 2.73 voltios.

Comprobar que los voltajes en los puntos de medición B y C son exactamente iguales a 2.73 voltios.

Paso 3: Ajuste de cero

Medir en el punto D y ajustar el potenciómetro CERO hasta que se encuentre un valor de 0 V.

Paso 4: Calibración de la ganancia

Ajustar el potenciómetro del sensor seleccionado a 3.23 V que significa 2.73 V más el equivalente a 50 °C.

Ajustar el potenciómetro "GAIN" y controlar con el potenciómetro "SPAN", para que se llegue a medir en el punto E ± 5 V.

Si los pasos anteriores se han hecho con seguridad el equipo está apto para medir temperaturas desde 0 °C a 50 °C. Es importante hacer mediciones en puntos intermedios de la escala.

Paso 5: Calibración final

Ajustar los potenciómetros de los dos sensores para que se midan los puntos F y G respectivamente, seleccionando el puente de calibración para que midan la temperatura de referencia que puede ser la del ambiente de ese momento.

Hacer la verificación de los dos canales de medición.

Luego de realizadas estas mediciones y comprobaciones, se puede sellar los potenciómetros para evitar que se descalibren.

Calibración del contraste del display

Para calibrar el contraste del display, se actúa en el potenciómetro "CONTR" y se lo debe mover hasta obtener la mejor visión del display.

ANEXO C: HOJAS DE DATOS

ACM1601C SERIES LCD MODULE

1.0 PHYSICAL DATA

Item	Nominal Dimensions / Available Options	Unit
Number of Characters	16 characters x 1 line	-
Character Format	5 x 7 dots with cursor	-
Overall Module Size (W x H x D)	80.0 x 36.0 x max 13.5 for LED backlight version 80.0 x 36.0 x max 9.5 for reflective version	mm
Dot Size (W x H)	0.55 x 0.75	mm
Dot Pitch (W x H)	0.63 x 0.83	mm
Duty	1/16	-
Controller IC	KS0066	-
LC Fluid Options	TN, STN	-
Polarizer Options	Reflective, Transflective	-
Backlight Options	LED	-
Temperature Range Options	Standard	-

2.0 ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Item	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Operating temperature (Standard)	Top	0	-	50	°C
Storage temperature (Standard)	Tst	-20	-	70	°C
Operating temperature (Wide temp)	Top	-20	-	+70	°C
Storage temperature (Wide temp)	Tst	-30	-	+80	°C
Input voltage	VI	VSS	-	VDD	V
Supply voltage for logic	VDD-VSS	0	5.0	6.5	V
Supply voltage for LCD drive	VDD-V0	0	-	6.5	V

3.0 OPTICAL CHARACTERISTICS (Ta = 25°C, VDD = 5.0V ± 0.25V, STN LC Fluid)

Item	Symbol	Condition	Min	Typ	Max	Unit
Viewing angle (horizontal)	θ	$Cr \geq 2.0$	±30	-	±45	deg
Viewing angle (vertical)	ϕ	$Cr \geq 2.0$	60	-	80	deg
Contrast Ratio	Cr	$\phi=0^\circ, \theta=0^\circ$	4.5	-	10	
Response time (rise)	Tr	$\phi=0^\circ, \theta=0^\circ$	-	120	240	ms
Response time (fall)	Tf	$\phi=0^\circ, \theta=0^\circ$	-	155	310	ms

ACM1601C SERIES LCD MODULE

4.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Ta = 25°C, VDD = 5.0V ± 0.25V)

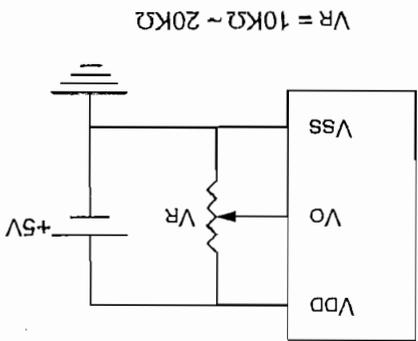
Item	Symbol	Condition	Min	Typ	Max	Unit
Supply voltage for LCD drive	VDD-V0	Ta = 25°C, STN		4.8		V
Supply voltage for LCD drive	VDD-V0	Ta = 25°C, TN		4.8		V
Input voltage	VI	-	4.75	5.0	5.25	V
Input high voltage	VIH	-	2.2	-	VDD	V
Input low voltage	VIL	-	0	-	0.6	V
Output high voltage	VOH	I _{OH} =0.2mA	2.4	-	-	V
Output low voltage	VOL	I _{OL} =1.2mA	-	-	0.4	V
Supply current	I _{DD}	VDD=5.0V	-	-	3.0	mA
Input leakage current	I _{LKG}	-	-	-	1.0	µA
LED power supply current	I _{LED}	V _{LED} =5V, R=8.2Ω	-	100	-	mA

5.0 INTERFACE PIN CONNECTIONS

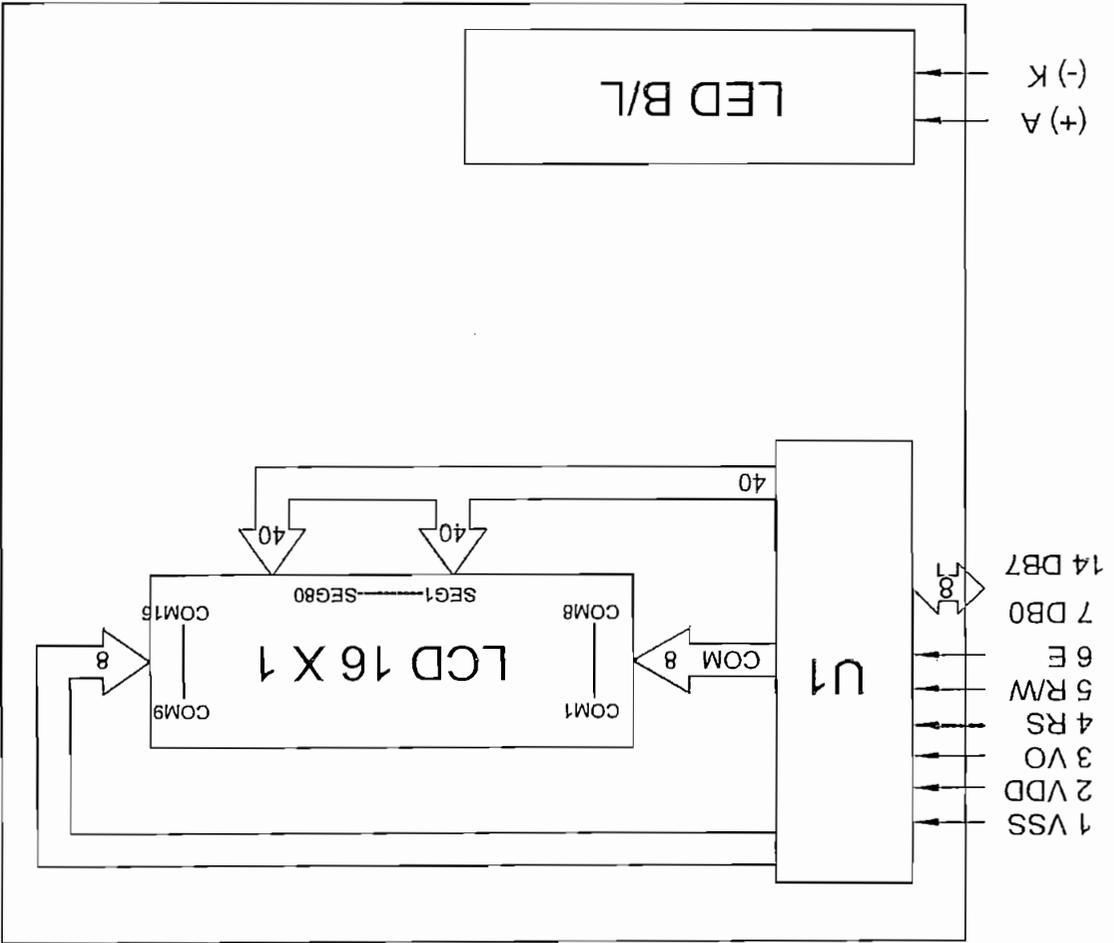
Pin No.	Symbol	Level	Pin Description	Function
1	VSS	-	Ground	0V
2	VDD	-	Supply voltage for logic	+5V
3	VO	-	LCD contrast adjust	By user
4	RS	H/L	Register select	H: Data; L: Instruction code
5	R/W	H/L	Read / write	H: Data read, L: Data write
6	E	H, H→L	Enable	Start signal for data read/write
7	DB0	H/L	Data bit 0	8-bit interface
8	DB1	H/L	Data bit 1	8-bit interface
9	DB2	H/L	Data bit 2	8-bit interface
10	DB3	H/L	Data bit 3	8-bit interface
11	DB4	H/L	Data bit 4	4-bit or 8-bit interface
12	DB5	H/L	Data bit 5	4-bit or 8-bit interface
13	DB6	H/L	Data bit 6	4-bit or 8-bit interface
14	DB7	H/L	Data bit 7	4-bit or 8-bit interface
+	A	-	Anode for LED backlight	Power supply for LED backlight
-	K	-	Cathode for LED backlight	Power supply for LED backlight

ACM1601C SERIES LCD MODULE

6.0 POWER SUPPLY



7.0 BLOCK DIAGRAM



ACM1601C SERIES LCD MODULE

8.0 TIMING CHARACTERISTICS (KS0066 Controller)

Item	Symbol	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
Enable cycle time	t_{cyc}	Fig. a, Fig. b	500	-	-	ns
Enable pulse width	PW_{EH}	Fig. a, Fig. b	220	-	-	ns
Enable rise/fall time	t_{er}, t_{ef}	Fig. a, Fig. b	-	-	25	ns
RS, R/W set up time	t_{as}	Fig. a, Fig. b	40	-	-	ns
RS, R/W hold time	t_{h1}	Fig. a, Fig. b	10	-	-	ns
Data set up time	t_{dsw}	Fig. a	60	-	-	ns
Data hold time	t_{h2}	Fig. a	10	-	-	ns
Data delay time	t_{DDR}	Fig. b	-	-	120	ns
Data hold time	t_{h2}	Fig. b	20	-	-	ns

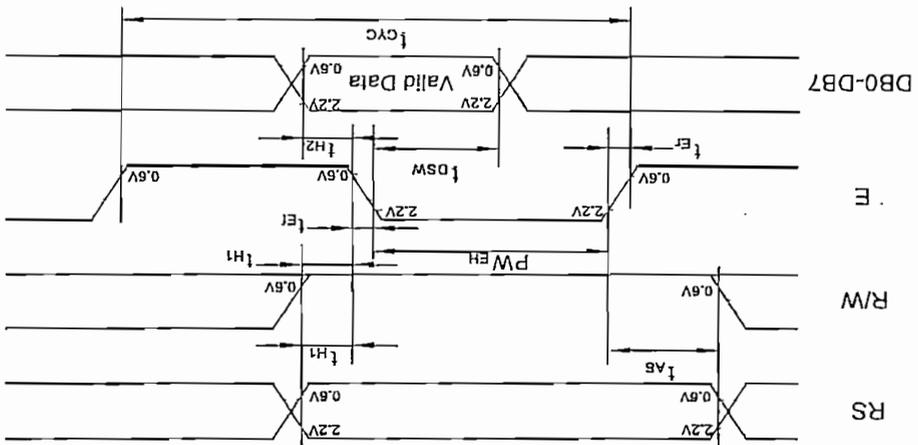


Fig. a Interface timing (data write)

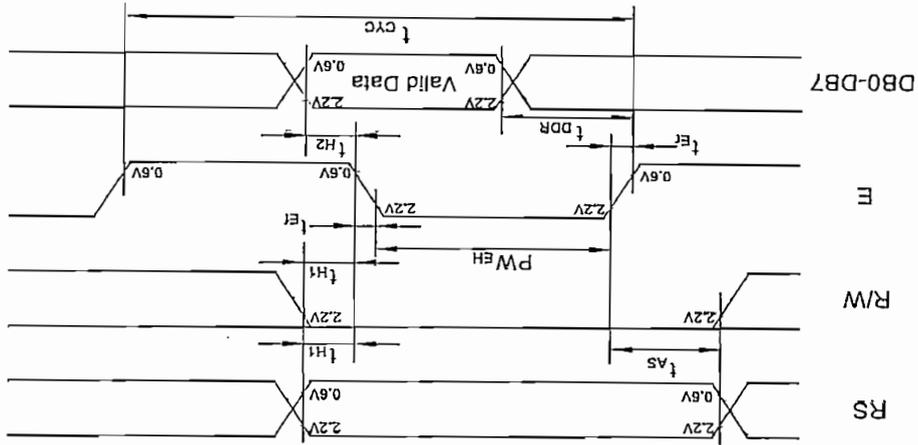
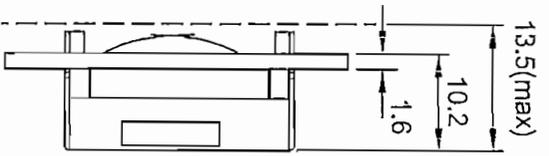
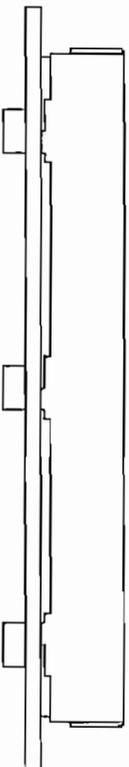
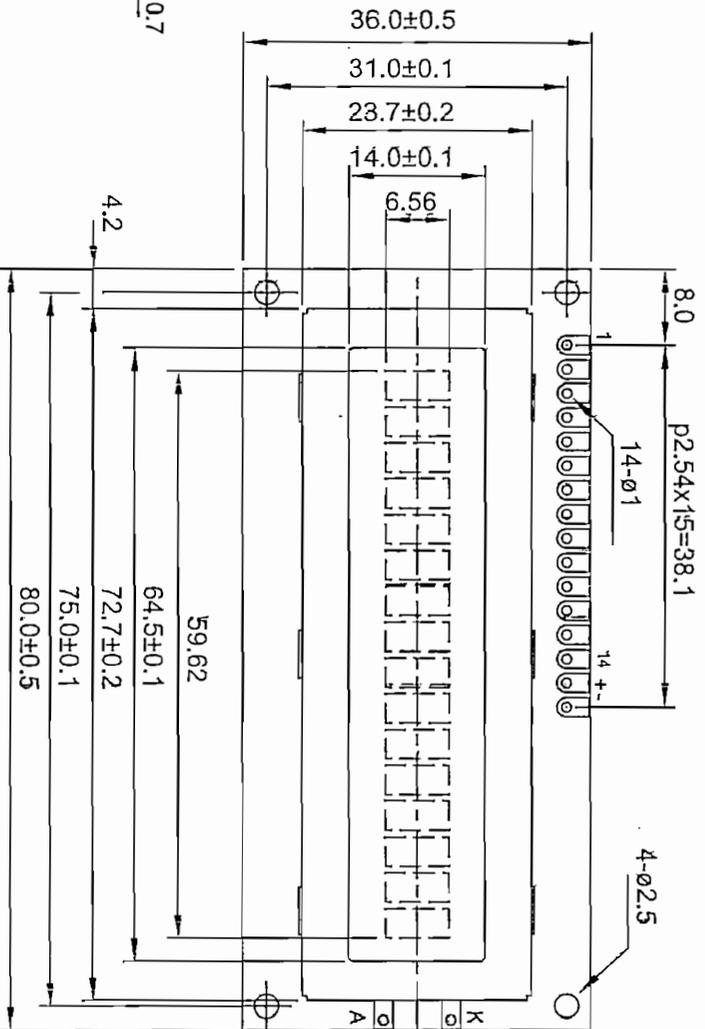
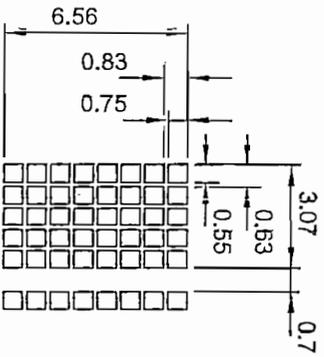
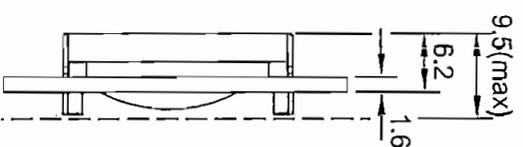


Fig. b Interface timing (data read)

LED BKL



EL BKL or without BKL



Pin Function

1. Vss
2. Vdd
3. Vo
4. RS
5. RW
6. E
7. DB0
14. DB7

AZ DISPLAYS, INC.		NAME	DATE
APPROVE			
CHECK			
DESIGN			
DRAW			
TITLE		DWG-NO	
ACM1601C		UNIT : mm	
SCALE : NONE		SCALE : NONE	

DM74LS14

Hex Inverter with Schmitt Trigger Inputs

General Description

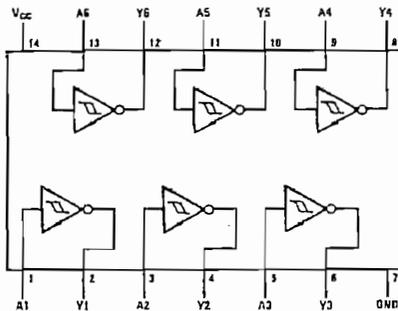
This device contains six independent gates each of which performs the logic INVERT function. Each input has hysteresis which increases the noise immunity and transforms a slowly changing input signal to a fast changing, jitter free output.

Ordering Code:

Order Number	Package Number	Package Description
DM74LS14M	M14A	14-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-120, 0.150 Narrow
DM74LS14S.J	M14D	14-Lead Small Outline Package (SOP), EIAJ TYPE II, 5.3mm Wide
DM74LS14N	N14A	14-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300 Wide

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

Connection Diagram



Function Table

$$Y = \bar{A}$$

Input	Output
A	Y
L	H
H	L

H = HIGH Logic Level
L = LOW Logic Level

Absolute Maximum Ratings(Note 1)

Supply Voltage	7V
Input Voltage	7V
Operating Free Air Temperature Range	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C

Note 1: The "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. The device should not be operated at these limits. The parametric 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 _{CC}	Supply Voltage	4.75	5	5.25	V
V _{T+}	Positive-Going Input Threshold Voltage (Note 2)	1.4	1.6	1.9	V
V _{T-}	Negative-Going Input Threshold Voltage (Note 2)	0.5	0.8	1	V
HYS	Input Hysteresis (Note 2)	0.4	0.8		V
I _{OH}	HIGH Level Output Current			-0.4	mA
I _{OL}	LOW Level Output Current			8	mA
T _A	Free Air Operating Temperature	0		70	°C

Note 2: V_{CC} = 5V.

Electrical Characteristics

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

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ (Note 3)	Max	Units
V _I	Input Clamp Voltage	V _{CC} = Min, I _I = -18 mA			-1.5	V
V _{OH}	HIGH Level Output Voltage	V _{CC} = Min, I _{OH} = Max V _{IL} = Max	2.7	3.4		V
V _{OL}	LOW Level Output Voltage	V _{CC} = Min, I _{OL} = Max V _{IH} = Min		0.35	0.5	V
		V _{CC} = Min, I _{OL} = 4 mA		0.25	0.4	
I _{T+}	Input Current at Positive-Going Threshold	V _{CC} = 5V, V _I = V _{T+}		-0.14		mA
I _{T-}	Input Current at Negative-Going Threshold	V _{CC} = 5V, V _I = V _{T-}		-0.18		mA
I _I	Input Current @ Max Input Voltage	V _{CC} = Max, V _I = 7V			0.1	mA
I _{IH}	HIGH Level Input Current	V _{CC} = Max, V _I = 2.7V			20	μA
I _{IL}	LOW Level Input Current	V _{CC} = Max, V _I = 0.4V			-0.4	mA
I _{OS}	Short Circuit Output Current	V _{CC} = Max (Note 4)	-20		-100	mA
I _{CGH}	Supply Current with Outputs HIGH	V _{CC} = Max		8.6	16	mA
I _{CCL}	Supply Current with Outputs LOW	V _{CC} = Max		12	21	mA

Note 3: All typicals are at V_{CC} = 5V, T_A = 25°C.

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

Switching Characteristics

at V_{CC} = 5V and T_A = 25°C

Symbol	Parameter	R _L = 2 kΩ				Units
		C _L = 15 pF		C _L = 50 pF		
		Min	Max	Min	Max	
t _{PLH}	Propagation Delay Time LOW-to-HIGH Level Output	5	22	8	25	ns
t _{PHL}	Propagation Delay Time HIGH-to-LOW Level Output	5	22	10	33	ns

LM135/LM235/LM335, LM135A/LM235A/LM335A Precision Temperature Sensors

General Description

The LM135 series are precision, easily-calibrated, integrated circuit temperature sensors. Operating as a 2-terminal zener, the LM135 has a breakdown voltage directly proportional to absolute temperature at +10 mV/K. With less than 1Ω dynamic impedance the device operates over a current range of 400 μA to 5 mA with virtually no change in performance. When calibrated at 25°C the LM135 has typically less than 1°C error over a 100°C temperature range. Unlike other sensors the LM135 has a linear output.

Applications for the LM135 include almost any type of temperature sensing over a -55°C to +150°C temperature range. The low impedance and linear output make interfacing to readout or control circuitry especially easy.

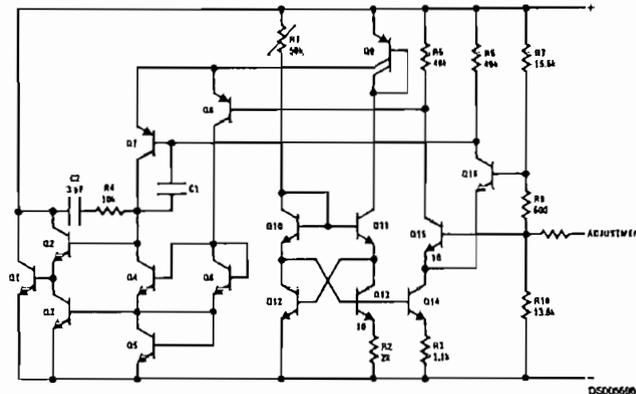
The LM135 operates over a -55°C to +150°C temperature range while the LM235 operates over a -40°C to +125°C

temperature range. The LM335 operates from -40°C to +100°C. The LM135/LM235/LM335 are available packaged in hermetic TO-46 transistor packages while the LM335 is also available in plastic TO-92 packages.

Features

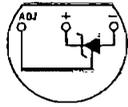
- Directly calibrated in °Kelvin
- 1°C initial accuracy available
- Operates from 400 μA to 5 mA
- Less than 1Ω dynamic impedance
- Easily calibrated
- Wide operating temperature range
- 200°C overrange
- Low cost

Schematic Diagram



Connection Diagrams

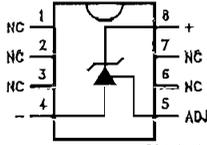
TO-92
Plastic Package



DS000606-6

Bottom View
Order Number LM335Z
or LM335AZ
See NS Package
Number Z03A

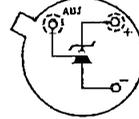
SO-8
Surface Mount Package



DS000606-25

Order Number LM335M
See NS Package
Number M08A

TO-46
Metal Can Package*



DS000606-26

*Case is connected to negative pin

Bottom View
Order Number LM135H,
LM135H-ML, LM235H,
LM335H, LM135AH,
LM235AH or LM335AH
See NS Package
Number H03H

Absolute Maximum Ratings (Note 4)

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

Reverse Current	15 mA
Forward Current	10 mA
Storage Temperature	
TO-46 Package	-60°C to +180°C
TO-92 Package	-60°C to +150°C
SO-8 Package	-65°C to +150°C

Specified Operating Temp. Range

	Continuous	Intermittent (Note 2)
LM135, LM135A	-55°C to +150°C	150°C to 200°C
LM235, LM235A	-40°C to +125°C	125°C to 150°C
LM335, LM335A	-40°C to +100°C	100°C to 125°C
Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)		
TO-92 Package:		260°C
TO-46 Package:		300°C
SO-8 Package:		300°C
Vapor Phase (60 seconds):		215°C
Infrared (15 seconds):		220°C

Temperature Accuracy (Note 1)

LM135/LM235, LM135A/LM235A

Parameter	Conditions	LM135A/LM235A			LM135/LM235			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Operating Output Voltage	$T_C = 25^\circ\text{C}$, $I_R = 1\text{ mA}$	2.97	2.98	2.99	2.95	2.98	3.01	V
Uncalibrated Temperature Error	$T_C = 25^\circ\text{C}$, $I_R = 1\text{ mA}$		0.5	1		1	3	°C
Uncalibrated Temperature Error	$T_{\text{MIN}} \leq T_C \leq T_{\text{MAX}}$, $I_R = 1\text{ mA}$		1.3	2.7		2	5	°C
Temperature Error with 25°C Calibration	$T_{\text{MIN}} \leq T_C \leq T_{\text{MAX}}$, $I_R = 1\text{ mA}$		0.3	1		0.5	1.5	°C
Calibrated Error at Extended Temperatures	$T_C = T_{\text{MAX}}$ (Intermittent)		2			2		°C
Non-Linearity	$I_R = 1\text{ mA}$		0.3	0.5		0.3	1	°C

Temperature Accuracy (Note 1)

LM335, LM335A

Parameter	Conditions	LM335A			LM335			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Operating Output Voltage	$T_C = 25^\circ\text{C}$, $I_R = 1\text{ mA}$	2.95	2.98	3.01	2.92	2.98	3.04	V
Uncalibrated Temperature Error	$T_C = 25^\circ\text{C}$, $I_R = 1\text{ mA}$		1	3		2	6	°C
Uncalibrated Temperature Error	$T_{\text{MIN}} \leq T_C \leq T_{\text{MAX}}$, $I_R = 1\text{ mA}$		2	5		4	9	°C
Temperature Error with 25°C Calibration	$T_{\text{MIN}} \leq T_C \leq T_{\text{MAX}}$, $I_R = 1\text{ mA}$		0.5	1		1	2	°C
Calibrated Error at Extended Temperatures	$T_C = T_{\text{MAX}}$ (Intermittent)		2			2		°C
Non-Linearity	$I_R = 1\text{ mA}$		0.3	1.5		0.3	1.5	°C

Electrical Characteristics (Note 1)

Parameter	Conditions	LM135/LM235			LM335			Units
		LM135A/LM235A			LM335A			
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Operating Output Voltage Change with Current	$400\ \mu\text{A} \leq I_R \leq 5\text{ mA}$ At Constant Temperature		2.5	10		3	14	mV
Dynamic Impedance	$I_R = 1\text{ mA}$		0.5			0.6		Ω
Output Voltage Temperature Coefficient			+10			+10		mV/°C
Time Constant	Still Air		80			80		sec
	100 ft/Min Air		10			10		sec
	Stirred Oil		1			1		sec
Time Stability	$T_C = 125^\circ\text{C}$		0.2			0.2		°C/hr

Electrical Characteristics (Note 1) (Continued)

Note 1: Accuracy measurements are made in a well-stirred oil bath. For other conditions, self heating must be considered.

Note 2: Continuous operation at these temperatures for 10,000 hours for H package and 5,000 hours for Z package may decrease life expectancy of the device.

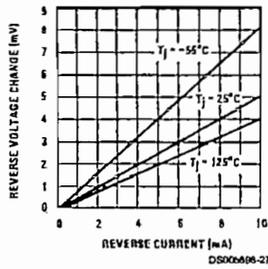
Note 3:

Thermal Resistance	TO-92	TO-46	SO-8
θ_{JA} (junction to ambient)	202°C/W	400°C/W	165°C/W
θ_{JC} (junction to case)	170°C/W	N/A	N/A

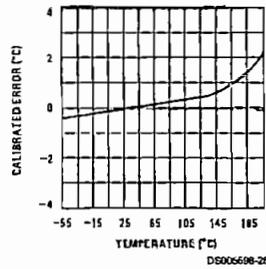
Note 4: Refer to RETS135H for military specifications.

Typical Performance Characteristics

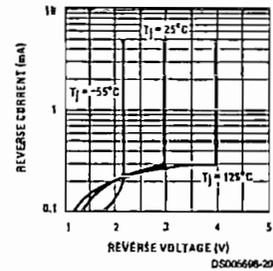
Reverse Voltage Change



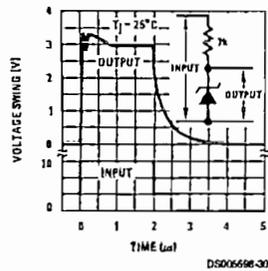
Calibrated Error



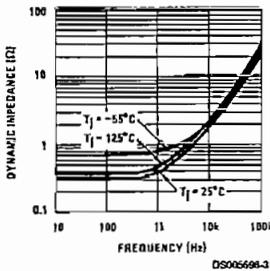
Reverse Characteristics



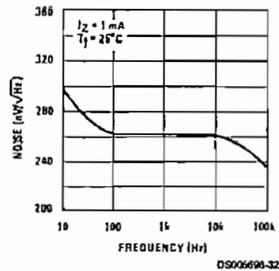
Response Time



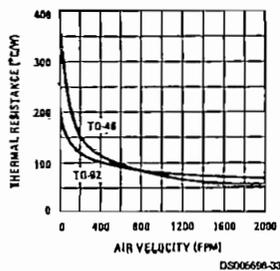
Dynamic Impedance



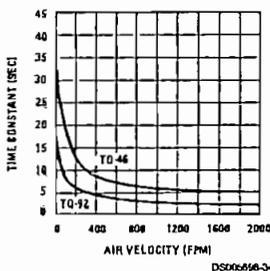
Noise Voltage



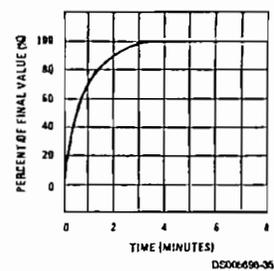
Thermal Resistance
Junction to Air



Thermal Time Constant

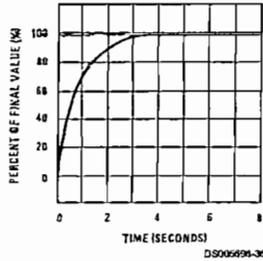


Thermal Response in Still Air

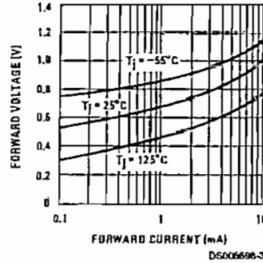


Typical Performance Characteristics (Continued)

Thermal Response in Stirred Oil Bath



Forward Characteristics



Application Hints

CALIBRATING THE LM135

Included on the LM135 chip is an easy method of calibrating the device for higher accuracies. A pot connected across the LM135 with the arm tied to the adjustment terminal allows a 1-point calibration of the sensor that corrects for inaccuracy over the full temperature range.

This single point calibration works because the output of the LM135 is proportional to absolute temperature with the extrapolated output of sensor going to 0V output at 0°K (-273.15°C). Errors in output voltage versus temperature are only slope (or scale factor) errors so a slope calibration at one temperature corrects at all temperatures.

The output of the device (calibrated or uncalibrated) can be expressed as:

$$V_{OUTT} = V_{OUTT_0} \times \frac{T}{T_0}$$

where T is the unknown temperature and T_0 is a reference temperature, both expressed in degrees Kelvin. By calibrating the output to read correctly at one temperature the output at all temperatures is correct. Nominally the output is calibrated at 10 mV/°K.

To insure good sensing accuracy several precautions must be taken. Like any temperature sensing device, self heating can reduce accuracy. The LM135 should be operated at the lowest current suitable for the application. Sufficient current, of course, must be available to drive both the sensor and the calibration pot at the maximum operating temperature as well as any external loads.

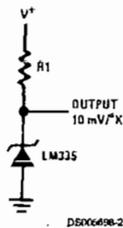
If the sensor is used in an ambient where the thermal resistance is constant, self heating errors can be calibrated out. This is possible if the device is run with a temperature stable current. Heating will then be proportional to zener voltage and therefore temperature. This makes the self heating error proportional to absolute temperature the same as scale factor errors.

WATERPROOFING SENSORS

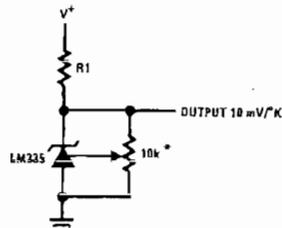
Meltable inner core heat shrinkable tubing such as manufactured by Raychem can be used to make low-cost waterproof sensors. The LM335 is inserted into the tubing about 1/2" from the end and the tubing heated above the melting point of the core. The unfilled 1/2" end melts and provides a seal over the device.

Typical Applications

Basic Temperature Sensor

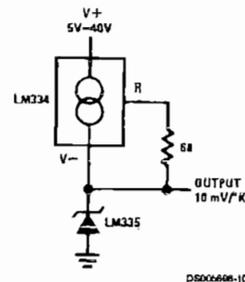


Calibrated Sensor



*Calibrate for 2.982V at 25°C

Wide Operating Supply



TL081, TL081A, TL081B, TL082, TL082A, TL082B TL082Y, TL084, TL084A, TL084B, TL084Y JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS081E—FEBRUARY 1977—REVISED FEBRUARY 1999

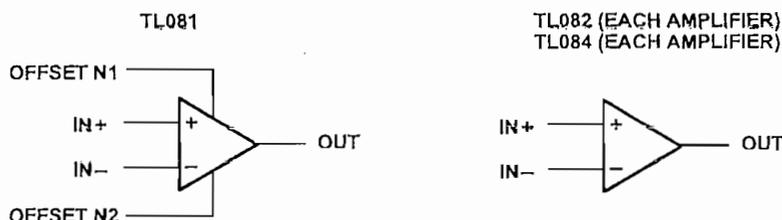
- Low Power Consumption
- Wide Common-Mode and Differential Voltage Ranges
- Low Input Bias and Offset Currents
- Output Short-Circuit Protection
- Low Total Harmonic Distortion . . . 0.003% Typ
- High Input Impedance . . . JFET-Input Stage
- Latch-Up-Free Operation
- High Slew Rate . . . 13 V/ μ s Typ
- Common-Mode Input Voltage Range Includes V_{CC+}

description

The TL08x JFET-input operational amplifier family is designed to offer a wider selection than any previously developed operational amplifier family. Each of these JFET-input operational amplifiers incorporates well-matched, high-voltage JFET 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. Offset adjustment and external compensation options are available within the TL08x family.

The C-suffix devices are characterized for operation from 0°C to 70°C. The I-suffix devices are characterized for operation from -40°C to 85°C. The Q-suffix devices are characterized for operation from -40°C to 125°C. The M-suffix devices are characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to 125°C.

symbols



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

 **TEXAS
INSTRUMENTS**

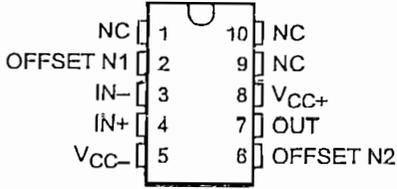
POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 1999, Texas Instruments Incorporated
On products compliant to MIL-PRF-38535, all parameters are tested unless otherwise noted. On all other products, production processing does not necessarily include testing of all parameters.

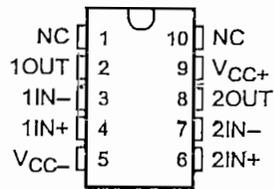
**TL081, TL081A, TL081B, TL082, TL082A, TL082B
TL082Y, TL084, TL084A, TL084B, TL084Y
JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS**

SLOS081E—FEBRUARY 1977—REVISED FEBRUARY 1999

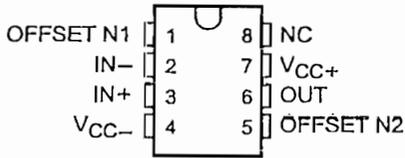
**TL081M
U PACKAGE
(TOP VIEW)**



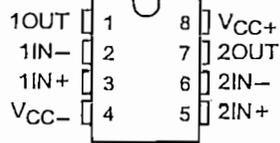
**TL082M
U PACKAGE
(TOP VIEW)**



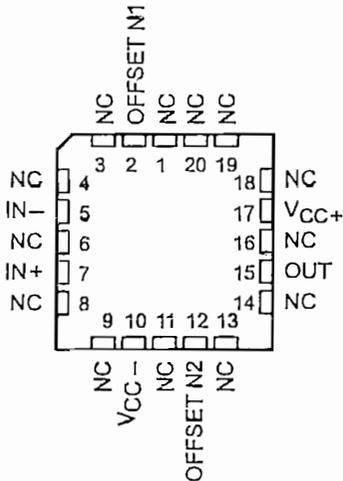
**TL081, TL081A, TL081B
D, JG, P, OR PW PACKAGE
(TOP VIEW)**



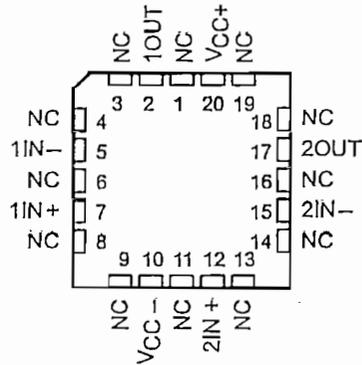
**TL082, TL082A, TL082B
D, JG, P, OR PW PACKAGE
(TOP VIEW)**



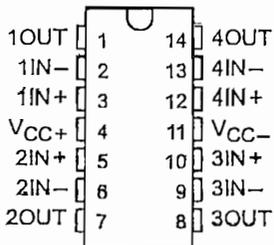
**TL081M ... FK PACKAGE
(TOP VIEW)**



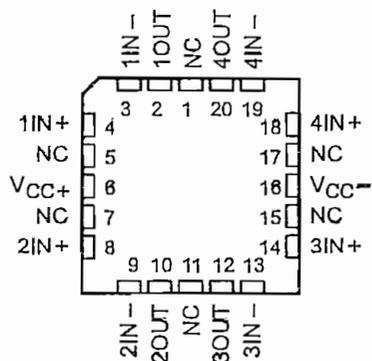
**TL082M ... FK PACKAGE
(TOP VIEW)**



**TL084, TL084A, TL084B
D, J, N, PW, OR W PACKAGE
(TOP VIEW)**



**TL084M ... FK PACKAGE
(TOP VIEW)**



NC — No internal connection



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

TL081, TL081A, TL081B, TL082, TL082A, TL082B
 TL082Y, TL084, TL084A, TL084B, TL084Y
 JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS
 SLOS081E—FEBRUARY 1977—REVISED FEBRUARY 1999

AVAILABLE OPTIONS

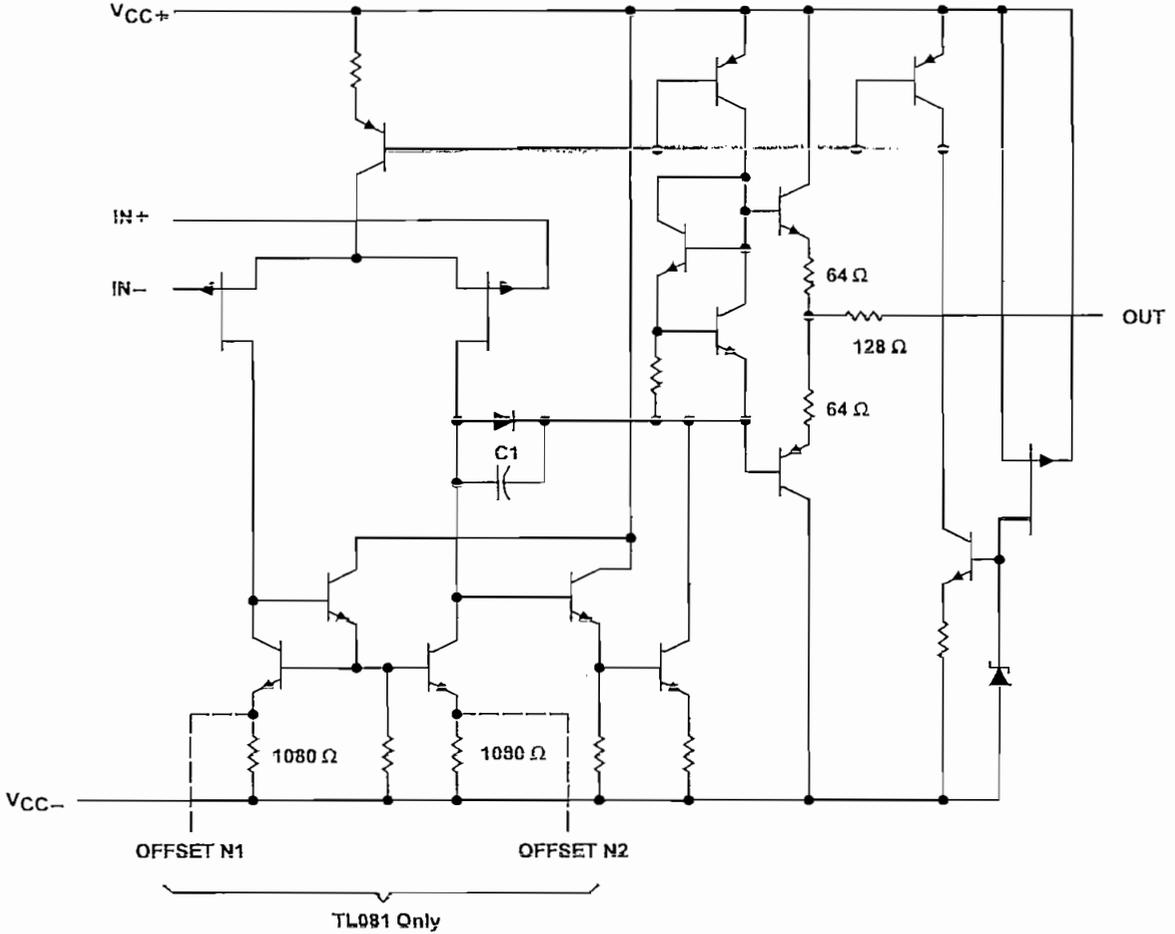
TA	V _{IO} max AT 25°C	PACKAGED DEVICES											CHIP FORM (Y)			
		SMALL OUTLINE (D008)	SMALL OUTLINE (D014)	CHIP CARRIER (FK)	CERAMIC DIP (J)	CERAMIC DIP (JG)	PLASTIC DIP (N)	PLASTIC DIP (P)	TSSOP (PW)	FLAT PACK (U)	FLAT PACK (W)					
0°C to 70°C	15 mV	TL081CD	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	6 mV	TL081ACD	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	3 mV	TL081BCD	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—40°C to 85°C	15 mV	TL082CD	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	6 mV	TL082ACD	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	3 mV	TL082BCD	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—40°C to 125°C	15 mV	—	TL084CD	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	6 mV	TL081ID	TL084CD	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	6 mV	TL082ID	TL084ACD	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—55°C to 125°C	6 mV	TL084ID	TL084BCD	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	6 mV	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	9 mV	—	TL084QD	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—55°C to 125°C	6 mV	—	—	TL081MFK	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	6 mV	—	—	TL082MFK	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	9 mV	—	—	TL084MFK	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
																TL084MW

The D package is available taped and reeled. Add R suffix to the device type (e.g., TL081CDDR).



TL081, TL081A, TL081B, TL082, TL082A, TL082B
 TL082Y, TL084, TL084A, TL084B, TL084Y
JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS
 SLOS081E – FEBRUARY 1977 – REVISED FEBRUARY 1999

schematic (each amplifier)



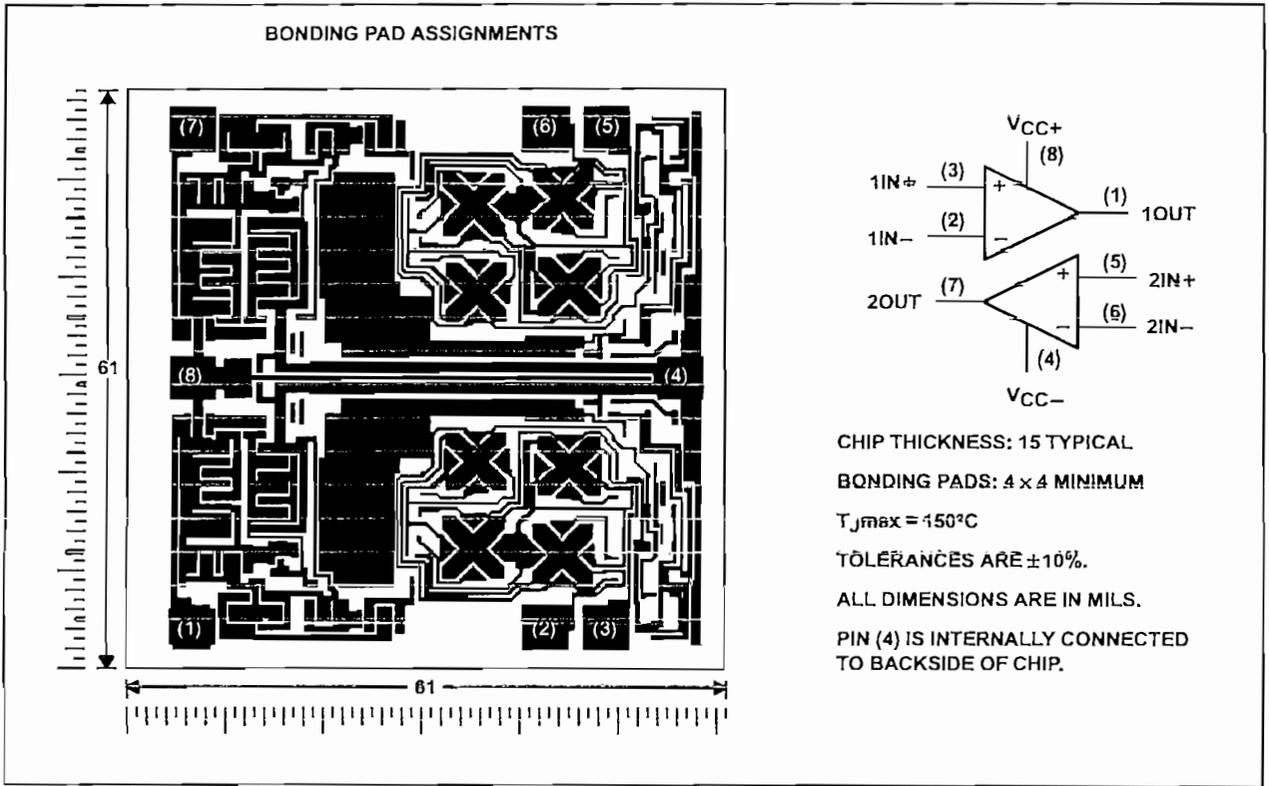
Component values shown are nominal.

TL081, TL081A, TL081B, TL082, TL082A, TL082B
 TL082Y, TL084, TL084A, TL084B, TL084Y
JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS081E—FEBRUARY 1977—REVISED FEBRUARY 1999

TL082Y chip information

These chips, when properly assembled, display characteristics similar to the TL082. Thermal compression or ultrasonic bonding may be used on the doped-aluminum bonding pads. Chips may be mounted with conductive epoxy or a gold-silicon preform.



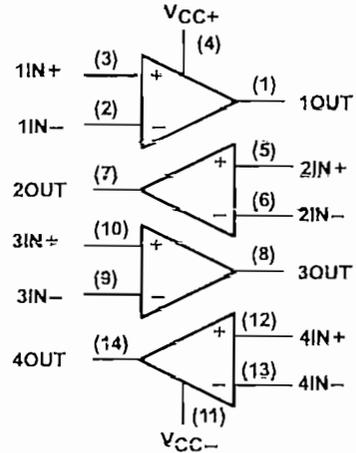
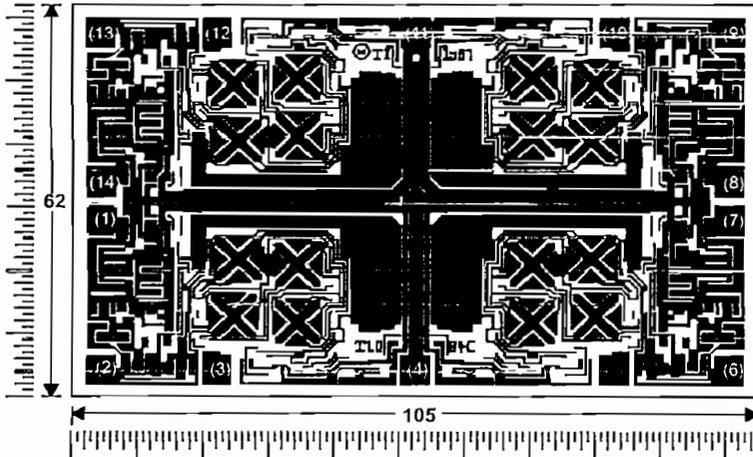
**TL081, TL081A, TL081B, TL082, TL082A, TL082B
TL082Y, TL084, TL084A, TL084B, TL084Y
JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS**

SLOS081E—FEBRUARY 1977—REVISED FEBRUARY 1999

TL084Y chip information

These chips, when properly assembled, display characteristics similar to the TL084. Thermal compression or ultrasonic bonding may be used on the doped-aluminum bonding pads. Chips may be mounted with conductive epoxy or a gold-silicon preform.

BONDING PAD ASSIGNMENTS



CHIP THICKNESS: 15 TYPICAL

BONDING PADS: 4 x 4 MINIMUM

$T_{jmax} = 150^{\circ}C$

TOLERANCES ARE $\pm 10\%$.

ALL DIMENSIONS ARE IN MILS.

PIN (11) IS INTERNALLY CONNECTED TO BACKSIDE OF CHIP.

**TL081, TL081A, TL081B, TL082, TL082A, TL082B
TL082Y, TL084, TL084A, TL084B, TL084Y
JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS**

SLOS081E—FEBRUARY 1977—REVISED FEBRUARY 1999

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†

	TL08_C TL08_AC TL08_BC	TL08_I	TL084Q	TL08_M	UNIT
Supply voltage, V_{CC+} (see Note 1)	18	18	18	18	V
Supply voltage V_{CC-} (see Note 1)	-18	-18	-18	-18	V
Differential input voltage, V_{ID} (see Note 2)	± 30	± 30	± 30	± 30	V
Input voltage, V_I (see Notes 1 and 3)	± 15	± 15	± 15	± 15	V
Duration of output short circuit (see Note 4)	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	
Continuous total power dissipation	See Dissipation Rating Table				
Operating free-air temperature range, T_A	0 to 70	-40 to 85	-40 to 125	-55 to 125	$^{\circ}\text{C}$
Storage temperature range, T_{stg}	-65 to 150	-65 to 150	-65 to 150	-65 to 150	$^{\circ}\text{C}$
Case temperature for 60 seconds, T_C	FK package			260	$^{\circ}\text{C}$
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 60 seconds	J or JG package			300	$^{\circ}\text{C}$
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds	D, N, P, or PW package	260	260	260	$^{\circ}\text{C}$

† 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. All voltage values, except differential voltages, are with respect to the midpoint between V_{CC+} and V_{CC-} .
 2. Differential voltages are at $\text{IN}+$ with respect to $\text{IN}-$.
 3. The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 V, whichever is less.
 4. 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.

DISSIPATION RATING TABLE

PACKAGE	$T_A \leq 25^{\circ}\text{C}$ POWER RATING	DERATING FACTOR	DERATE ABOVE T_A	$T_A = 70^{\circ}\text{C}$ POWER RATING	$T_A = 85^{\circ}\text{C}$ POWER RATING	$T_A = 125^{\circ}\text{C}$ POWER RATING
D (8 pin)	680 mW	5.8 mW/ $^{\circ}\text{C}$	32 $^{\circ}\text{C}$	460 mW	373 mW	N/A
D (14 pin)	680 mW	7.6 mW/ $^{\circ}\text{C}$	60 $^{\circ}\text{C}$	604 mW	490 mW	186 mW
FK	680 mW	11.0 mW/ $^{\circ}\text{C}$	88 $^{\circ}\text{C}$	680 mW	680 mW	273 mW
J	680 mW	11.0 mW/ $^{\circ}\text{C}$	88 $^{\circ}\text{C}$	680 mW	680 mW	273 mW
JG	680 mW	8.4 mW/ $^{\circ}\text{C}$	69 $^{\circ}\text{C}$	672 mW	546 mW	210 mW
N	680 mW	9.2 mW/ $^{\circ}\text{C}$	76 $^{\circ}\text{C}$	680 mW	597 mW	N/A
P	680 mW	8.0 mW/ $^{\circ}\text{C}$	65 $^{\circ}\text{C}$	640 mW	520 mW	N/A
PW (8 pin)	525 mW	4.2 mW/ $^{\circ}\text{C}$	25 $^{\circ}\text{C}$	336 mW	N/A	N/A
PW (14 pin)	700 mW	5.6 mW/ $^{\circ}\text{C}$	25 $^{\circ}\text{C}$	448 mW	N/A	N/A
U	675 mW	5.4 mW/ $^{\circ}\text{C}$	25 $^{\circ}\text{C}$	432 mW	351 mW	135 mW
W	680 mW	8.0 mW/ $^{\circ}\text{C}$	65 $^{\circ}\text{C}$	640 mW	520 mW	200 mW



**TL081, TL081A, TL081B, TL082, TL082A, TL082B
TL082Y, TL084, TL084A, TL084B, TL084Y
JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS**

SLOS081E—FEBRUARY 1977—REVISED FEBRUARY 1999

electrical characteristics, $V_{CC\pm} = \pm 15\text{ V}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T _A †	TL081C TL082C TL084C			TL081AC TL082AC TL084AC			TL081BC TL082BC TL084BC			TL081I TL082I TL084I			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V _{IO}	V _O = 0 R _S = 50 Ω	25°C Full range	3	15	20	3	6	7.5	2	3	5	3	6	9	mV
αV _{IO}	V _O = 0 R _S = 50 Ω	Full range	18			18			18			18			μV/°C
I _{IO}	V _O = 0	25°C Full range	5	200	2	5	100	2	5	100	2	5	100	pA	
I _{IB}	V _O = 0	25°C Full range	30	400	10	30	200	7	30	200	7	30	200	nA	
V _{ICR}	Common-mode input voltage range	25°C	±11	-12 to 15	±12 ±13.5	±11	-12 to 15	±12 ±13.5	±11	-12 to 15	±12 ±13.5	±11	-12 to 15	V	
V _{OM}	Maximum peak output voltage swing	25°C Full range	±12	±12	±10 ±12	±12	±12	±12	±12	±12	±12	±12	±12	V	
AVD	Large-signal differential voltage amplification	25°C	25	200	15	50	200	25	50	200	25	50	200	V/mV	
B ₁	Unity-gain bandwidth	25°C	3			3			3			3		MHz	
f _i	Input resistance	25°C	10 ¹²			10 ¹²			10 ¹²			10 ¹²			Ω
CMRR	Common-mode rejection ratio	25°C	70	86		75	86		75	86		75	86	dB	
k _{SVR}	Supply voltage rejection ratio (ΔV _{CC±} /ΔV _{IO})	25°C	70	86		80	86		80	86		80	86	dB	
I _{CC}	Supply current (per amplifier)	25°C	1.4	2.8		1.4	2.8		1.4	2.8		1.4	2.8	mA	
V _{O1} /V _{O2}	Crosstalk attenuation	25°C	120			120			120			120		dB	

† All characteristics are measured under open-loop conditions with zero common-mode voltage unless otherwise specified. Full range for T_A is 0°C to 70°C for TL08_C, TL08_AC, TL08_BC and -40°C to 85°C for TL08_I.

‡ Input bias currents of a FET-input operational amplifier are normal junction reverse currents, which are temperature sensitive as shown in Figure 17. Pulse techniques must be used that maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible.



**TL081, TL081A, TL081B, TL082, TL082A, TL082B
TL082Y, TL084, TL084A, TL084B, TL084Y
JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS**

SLOS081E—FEBRUARY 1977—REVISED FEBRUARY 1999

electrical characteristics, $V_{CC\pm} = \pm 15\text{ V}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	T_A	TL081M, TL082M			TL084Q, TL084M			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V_{IO} Input offset voltage	$V_O = 0, R_S = 50\ \Omega$	25°C		3	6		3	9	mV
		Full range			9			15	
α_{VIO} Temperature coefficient of input offset voltage	$V_O = 0, R_S = 50\ \Omega$	Full range		18			18		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
I_{IO} Input offset current‡	$V_O = 0$	25°C		5	100		5	100	pA
		125°C			20			20	nA
I_{IB} Input bias current‡	$V_O = 0$	25°C		30	200		30	200	pA
		125°C			50			50	nA
V_{ICR} Common-mode input voltage range		25°C	± 11	± 12 to 15		± 11	± 12 to 15		V
V_{OM} Maximum peak output voltage swing	$R_L = 10\ \text{k}\Omega$	25°C	± 12	± 13.5		± 12	± 13.5		V
	$R_L \geq 10\ \text{k}\Omega$	Full range	± 12			± 12			
	$R_L \geq 2\ \text{k}\Omega$		± 10	± 12		± 10	± 12		
A_{VD} Large-signal differential voltage amplification	$V_O = \pm 10\ \text{V}, R_L \geq 2\ \text{k}\Omega$	25°C	25	200		25	200		V/mV
	$V_O = \pm 10\ \text{V}, R_L \geq 2\ \text{k}\Omega$	Full range	15			15			
B_1 Unity-gain bandwidth		25°C		3			3		MHz
r_i Input resistance		25°C		10^{12}			10^{12}		Ω
CMRR Common-mode rejection ratio	$V_{IC} = V_{ICRmin}, V_O = 0, R_S = 50\ \Omega$	25°C	80	86		80	86		dB
k_{SVR} Supply voltage rejection ratio ($\Delta V_{CC\pm}/\Delta V_{IO}$)	$V_{CC} = \pm 15\ \text{V}$ to $\pm 9\ \text{V}, V_O = 0, R_S = 50\ \Omega$	25°C	80	86		80	86		dB
I_{CC} Supply current (per amplifier)	$V_O = 0, \text{No load}$	25°C		1.4	2.8		1.4	2.8	mA
V_{O1}/V_{O2} Crosstalk attenuation	$A_{VD} = 100$	25°C		120			120		dB

† All characteristics are measured under open-loop conditions with zero common-mode input voltage unless otherwise specified.

‡ Input bias currents of a FET-input operational amplifier are normal junction reverse currents, which are temperature sensitive as shown in Figure 17. Pulse techniques must be used that maintain the junction temperatures as close to the ambient temperature as is possible.

operating characteristics, $V_{CC\pm} = \pm 15\ \text{V}, T_A = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
SR Slew rate at unity gain	$V_I = 10\ \text{V}, R_L = 2\ \text{k}\Omega, C_L = 100\ \text{pF}, \text{ See Figure 1}$	8*	13		V/ μs
	$V_I = 10\ \text{V}, T_A = -55^\circ\text{C}$ to $125^\circ\text{C}, R_L = 2\ \text{k}\Omega, C_L = 100\ \text{pF}, \text{ See Figure 1}$	5*			
t_r Rise time	$V_I = 20\ \text{mV}, R_L = 2\ \text{k}\Omega, C_L = 100\ \text{pF}, \text{ See Figure 1}$		0.05		μs
Overshoot factor			20%		
V_n Equivalent input noise voltage	$R_S = 20\ \Omega$	$f = 1\ \text{kHz}$		18	$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
		$f = 10\ \text{Hz}$ to $10\ \text{kHz}$		4	μV
I_n Equivalent input noise current	$R_S = 20\ \Omega, f = 1\ \text{kHz}$		0.01		$\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$
THD Total harmonic distortion	$V_{\text{rms}} = 6\ \text{V}, f = 1\ \text{kHz}, A_{VD} = 1, R_S \leq 1\ \text{k}\Omega, R_L \geq 2\ \text{k}\Omega$		0.003%		

*On products compliant to MIL-PRF-38535, this parameter is not production tested.



TL081, TL081A, TL081B, TL082, TL082A, TL082B
TL082Y, TL084, TL084A, TL084B, TL084Y
JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS
 SLOS081E – FEBRUARY 1977 – REVISED FEBRUARY 1999

electrical characteristics, $V_{CC\pm} = \pm 15\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	TL082Y, TL084Y			UNIT
		MIN	TYP	MAX	
V_{IO} Input offset voltage	$V_O = 0$, $R_S = 50\ \Omega$		3	15	mV
α_{VIO} Temperature coefficient of input offset voltage	$V_O = 0$, $R_S = 50\ \Omega$		18		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
I_{IO} Input offset current‡	$V_O = 0$,		5	200	μA
I_{IB} Input bias current‡	$V_O = 0$,		30	400	μA
V_{ICR} Common-mode input voltage range		± 11	-12 to 15		V
V_{OM} Maximum peak output voltage swing	$R_L = 10\ \text{k}\Omega$	± 12	± 13.5		V
A_{VD} Large-signal differential voltage amplification	$V_O = \pm 10\ \text{V}$, $R_L \geq 2\ \text{k}\Omega$	25	200		V/mV
B_1 Unity-gain bandwidth			3		MHz
r_i Input resistance			10^{12}		Ω
CMRR Common-mode rejection ratio	$V_{IC} = V_{ICRmin}$, $V_O = 0$, $R_S = 50\ \Omega$	70 70	86 86		dB
k_{SVR} Supply voltage rejection ratio ($\Delta V_{CC\pm} / \Delta V_{IO}$)	$V_{CC} = \pm 15\ \text{V}$ to $\pm 9\ \text{V}$, $V_O = 0$, $R_S = 50\ \Omega$	70 70	86 86		dB
I_{CC} Supply current (per amplifier)	$V_O = 0$, No load		1.4	2.8	mA
V_{O1}/V_{O2} Crosstalk attenuation	$A_{VD} = 100$		120		dB

† All characteristics are measured under open-loop conditions with zero common-mode voltage unless otherwise specified.

‡ Input bias currents of a FET-input operational amplifier are normal junction reverse currents, which are temperature sensitive as shown in Figure 17. Pulse techniques must be used that maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible.

operating characteristics, $V_{CC\pm} = \pm 15\ \text{V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER	TEST CONDITIONS			MIN	TYP	MAX	UNIT
SR Slew rate at unity gain	$V_I = 10\ \text{V}$,	$R_L = 2\ \text{k}\Omega$,	$C_L = 100\ \text{pF}$, See Figure 1	8	13		V/ μs
t_r Rise time	$V_I = 20\ \text{mV}$,	$R_L = 2\ \text{k}\Omega$,	$C_L = 100\ \text{pF}$, See Figure 1		0.05		μs
Overshoot factor					20%		
V_n Equivalent input noise voltage	$R_S = 20\ \Omega$	$f = 1\ \text{kHz}$			18		$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
		$f = 10\ \text{Hz}$ to $10\ \text{kHz}$			4		μV
I_n Equivalent input noise current	$R_S = 20\ \Omega$,	$f = 1\ \text{kHz}$			0.01		$\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$
THD Total harmonic distortion	$V_{jrms} = 6\ \text{V}$, $f = 1\ \text{kHz}$	$A_{VD} = 1$,	$R_S \leq 1\ \text{k}\Omega$, $R_L \geq 2\ \text{k}\Omega$,		0.003%		



LM108/LM208/LM308 Operational Amplifiers

General Description

The LM108 series are precision operational amplifiers having specifications a factor of ten better than FET amplifiers over a -55°C to $+125^{\circ}\text{C}$ temperature range.

The devices operate with supply voltages from $\pm 2\text{V}$ to $\pm 20\text{V}$ and have sufficient supply rejection to use unregulated supplies. Although the circuit is interchangeable with and uses the same compensation as the LM101A, an alternate compensation scheme can be used to make it particularly insensitive to power supply noise and to make supply bypass capacitors unnecessary.

The low current error of the LM108 series makes possible many designs that are not practical with conventional amplifiers. In fact, it operates from $10\text{ M}\Omega$ source resistances,

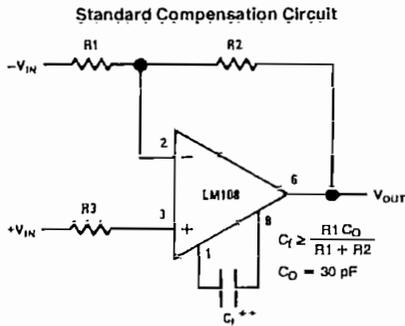
introducing less error than devices like the 709 with $10\text{ k}\Omega$ sources. Integrators with drifts less than $500\ \mu\text{V}/\text{sec}$ and analog time delays in excess of one hour can be made using capacitors no larger than $1\ \mu\text{F}$.

The LM108 is guaranteed from -55°C to $+125^{\circ}\text{C}$, the LM208 from -25°C to $+85^{\circ}\text{C}$, and the LM308 from 0°C to $+70^{\circ}\text{C}$.

Features

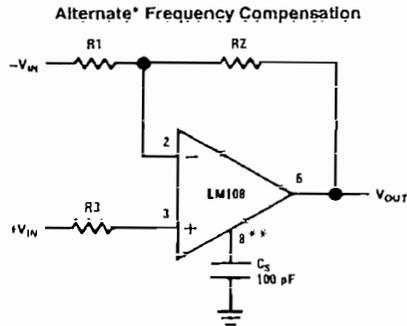
- Maximum input bias current of $3.0\ \text{nA}$ over temperature
- Offset current less than $400\ \text{pA}$ over temperature
- Supply current of only $300\ \mu\text{A}$, even in saturation
- Guaranteed drift characteristics

Compensation Circuits



TL/H/7758-1

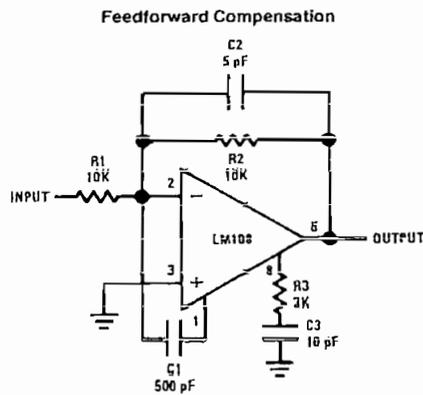
**Bandwidth and slew rate are proportional to $1/C_1$



TL/H/7758-2

*Improves rejection of power supply noise by a factor of ten.

**Bandwidth and slew rate are proportional to $1/C_2$



TL/H/7758-3

Absolute Maximum Ratings

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

(Note 5)

	LM108/LM208	LM308
Supply Voltage	±20V	±18V
Power Dissipation (Note 1)	500 mW	500 mW
Differential Input Current (Note 2)	±10 mA	±10 mA
Input Voltage (Note 3)	±15V	±15V
Output Short-Circuit Duration	Continuous	Continuous
Operating Temperature Range (LM108)	-55°C to +125°C	0°C to +70°C
(LM208)	-25°C to +85°C	
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec)		
DIP	260°C	260°C
H Package Lead Temp (Soldering 10 seconds)	300°C	300°C
Soldering Information		
Dual-In-Line Package		
Soldering (10 seconds)	280°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.		
ESD Tolerance (Note 6)	2000V	

Electrical Characteristics (Note 4)

Parameter	Condition	LM108/LM208			LM308			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$		0.7	2.0		2.0	7.5	mV
Input Offset Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		0.05	0.2		0.2	1	nA
Input Bias Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		0.8	2.0		1.5	7	nA
Input Resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}$	30	70		10	40		MΩ
Supply Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		0.3	0.6		0.3	0.8	mA
Large Signal Voltage Gain	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 15\text{V}$ $V_{OUT} = \pm 10\text{V}, R_L \geq 10\text{ k}\Omega$	50	300		25	300		V/mV
Input Offset Voltage				3.0			10	mV
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage			3.0	15		6.0	30	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Current				0.4			1.5	nA
Average Temperature Coefficient of Input Offset Current			0.5	2.5		2.0	10	$\text{pA}/^\circ\text{C}$
Input Bias Current				3.0			10	nA
Supply Current	$T_A = +125^\circ\text{C}$		0.15	0.4				mA
Large Signal Voltage Gain	$V_S = \pm 15\text{V}, V_{OUT} = \pm 10\text{V}$ $R_L \geq 10\text{ k}\Omega$	25			15			V/mV
Output Voltage Swing	$V_S = \pm 15\text{V}, R_L = 10\text{ k}\Omega$	±13	±14		±13	±14		V

Electrical Characteristics (Note 4) (Continued)

Parameter	Condition	LM108/LM208			LM308			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Voltage Range	$V_S = \pm 15V$	± 13.5			± 14			V
Common Mode Rejection Ratio		85	100		80	100		dB
Supply Voltage Rejection Ratio		80	96		80	96		dB

Note 1: The maximum junction temperature of the LM108 is 150°C, for the LM208, 100°C and for the LM308, 85°C. For operating at elevated temperatures, devices in the H08 package must be derated based on a thermal resistance of 160°C/W, junction to ambient, or 20°C/W, junction to case. The thermal resistance of the dual-in-line package is 100°C/W, junction to ambient.

Note 2: The inputs are shunted with back-to-back diodes for overvoltage protection. Therefore, excessive current will flow if a differential input voltage in excess of 1V is applied between the inputs unless some limiting resistance is used.

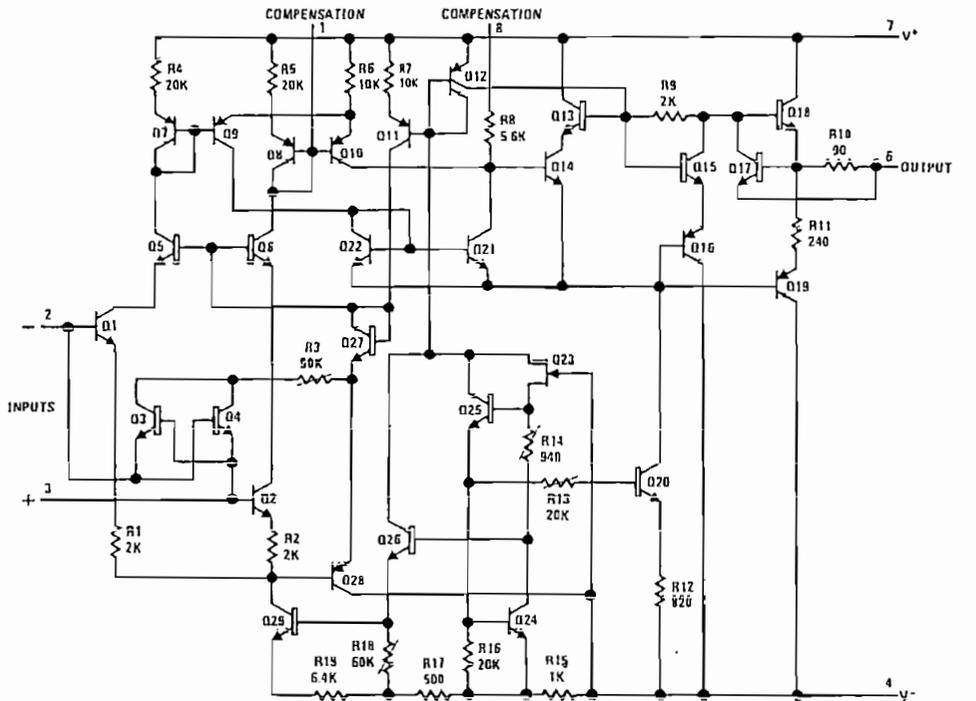
Note 3: For supply voltages less than $\pm 15V$, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

Note 4: These specifications apply for $\pm 5V \leq V_S \leq \pm 20V$ and $-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$, unless otherwise specified. With the LM208, however, all temperature specifications are limited to $-25^\circ C \leq T_A \leq 85^\circ C$, and for the LM308 they are limited to $0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$.

Note 5: Refer to RETS108X for LM108 military specifications and RETS 108AX for LM108A military specifications.

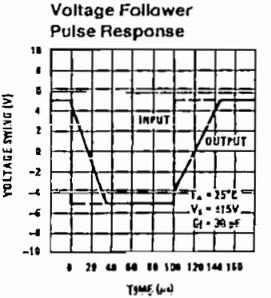
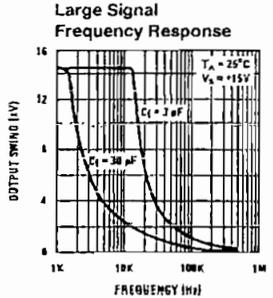
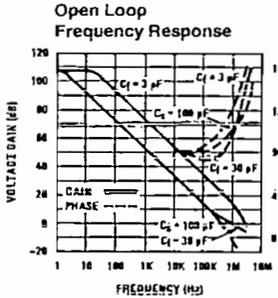
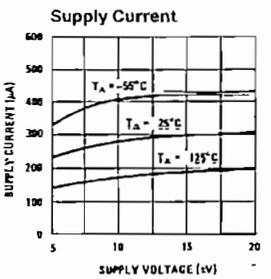
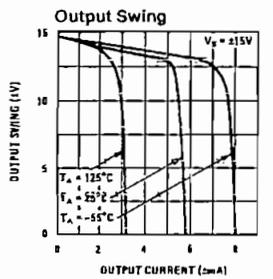
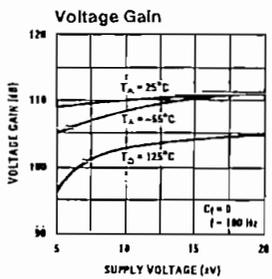
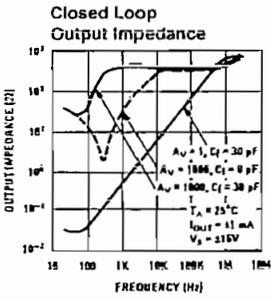
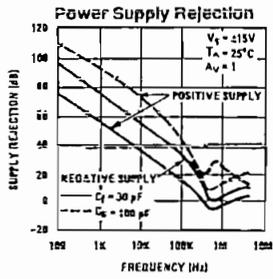
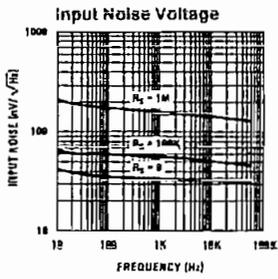
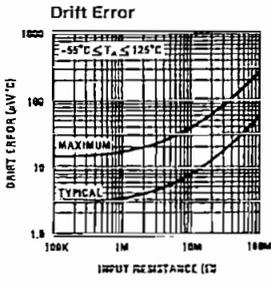
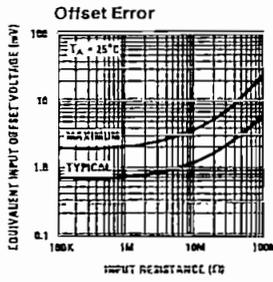
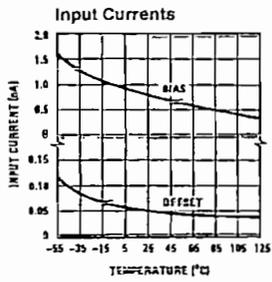
Note 6: Human body model, 1.5 k Ω in series with 100 pF.

Schematic Diagram



TJ/H/7758-B

Typical Performance Characteristics LM108/LM208



TJ/H/7758-6

ADC0808/ADC0809

8-Bit μ P Compatible A/D Converters with 8-Channel Multiplexer

General Description

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

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

The design of the ADC0808, ADC0809 has been optimized by incorporating the most desirable aspects of several A/D conversion techniques. The ADC0808, ADC0809 offers high speed, high accuracy, minimal temperature dependence, excellent long-term accuracy and repeatability, and consumes minimal power. These features make this device ideally suited to applications from process and machine control to consumer and automotive applications. For 16-channel multiplexer with common output (sample/hold port) see ADC0816 data sheet. (See AN-247 for more information.)

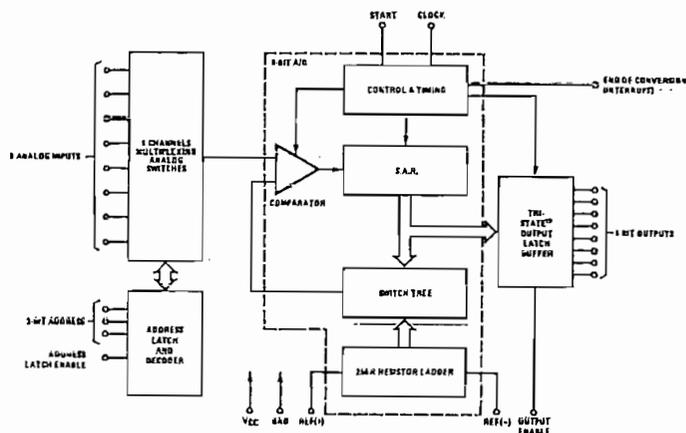
Features

- Easy Interface to all microprocessors
- Operates ratiometrically or with 5 V_{DC} or analog span adjusted voltage reference
- No zero or full-scale adjust required
- 8-channel multiplexer with address logic
- 0V to 5V input range with single 5V power supply
- Outputs meet TTL voltage level specifications
- Standard hermetic or molded 28-pin DIP package
- 28-pin molded chip carrier package
- ADC0808 equivalent to MM74C949
- ADC0809 equivalent to MM74C949-1

Key Specifications

- | | |
|--------------------------|-------------------------------|
| ■ Resolution | 8 Bits |
| ■ Total Unadjusted Error | $\pm 1/2$ LSB and ± 1 LSB |
| ■ Single Supply | 5 V _{DC} |
| ■ Low Power | 15 mW |
| ■ Conversion Time | 100 μ s |

Block Diagram



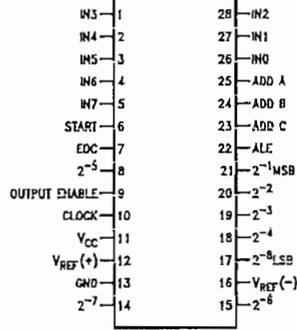
See Ordering Information

DS006672-1

TRI-STATE[®] is a registered trademark of National Semiconductor Corp.

Connection Diagrams

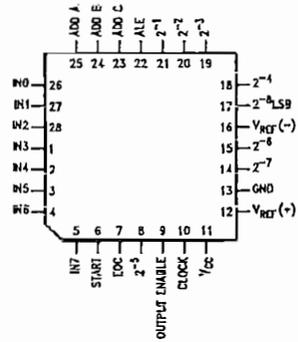
Dual-in-Line Package



DS006172-11

Order Number ADC0808CCN or ADC0809CCN
See NS Package J28A or N28A

Molded Chip Carrier Package



DS006172-12

Order Number ADC0808CCV or ADC0809CCV
See NS Package V28A

Ordering Information

TEMPERATURE RANGE		-40°C to +85°C			-55°C to +125°C
Error	±½ LSB Unadjusted	ADC0808CCN	ADC0808CCV	ADC0808CCJ	ADC0808CJ
	±1 LSB Unadjusted	ADC0809CCN	ADC0809CCV		
Package Outline		N28A Molded DIP	V28A Molded Chip Carrier	J28A Ceramic DIP	J28A Ceramic DIP

Absolute Maximum Ratings (Notes 2, 1)

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

Supply Voltage (V _{CC}) (Note 3)	6.5V
Voltage at Any Pin	-0.3V to (V _{CC} +0.3V)
Except Control Inputs	
Voltage at Control Inputs	-0.3V to +15V
(START, OE, CLOCK, ALE, ADD A, ADD B, ADD C)	
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Package Dissipation at T _A =25°C	875 mW
Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)	
Dual-In-Line Package (plastic)	260°C

Dual-In-Line Package (ceramic)	300°C
Molded Chip Carrier Package	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C
ESD Susceptibility (Note 8)	400V

Operating Conditions (Notes 1, 2)

Temperature Range (Note 1)	T _{MIN} ≤ T _A ≤ T _{MAX}
ADC0808CCN, ADC0809CCN	-40°C ≤ T _A ≤ +85°C
ADC0808CCV, ADC0809CCV	-40°C ≤ T _A ≤ +85°C
Range of V _{CC} (Note 1)	4.5 V _{DC} to 6.0 V _{DC}

Electrical Characteristics

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

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
	ADC0808					
	Total Unadjusted Error (Note 5)	25°C T _{MIN} to T _{MAX}			±½ ±¾	LSB LSB
	ADC0809					
	Total Unadjusted Error (Note 5)	0°C to 70°C T _{MIN} to T _{MAX}			±1 ±1¼	LSB LSB
	Input Resistance	From Ref(+) to Ref(-)	1.0	2.5		kΩ
	Analog Input Voltage Range	(Note 4) V(+) or V(-)	GND-0.10		V _{CC} +0.10	V _{OC}
V _{REF(+)}	Voltage, Top of Ladder	Measured at Ref(+)		V _{CC}	V _{CC} +0.1	V
$\frac{V_{REF(+)} + V_{REF(-)}}{2}$	Voltage, Center of Ladder		V _{CC} /2-0.1	V _{CC} /2	V _{CC} /2+0.1	V
V _{REF(-)}	Voltage, Bottom of Ladder	Measured at Ref(-)	-0.1	0		V
I _{IN}	Comparator Input Current	f _c =640 kHz, (Note 6)	-2	±0.5	2	µA

Electrical Characteristics

Digital Levels and DC Specifications: ADC0808CCN, ADC0808CCV, ADC0809CCN and ADC0809CCV, 4.75 ≤ V_{CC} ≤ 5.25V, -40°C ≤ T_A ≤ +85°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
ANALOG MULTIPLEXER						
I _{OFF(+)}	OFF Channel Leakage Current	V _{CC} =5V, V _{IN} =5V, T _A =25°C T _{MIN} to T _{MAX}		10	200 1.0	nA µA
I _{OFF(-)}	OFF Channel Leakage Current	V _{CC} =5V, V _{IN} =0, T _A =25°C T _{MIN} to T _{MAX}	-200 -1.0	-10		nA µA
CONTROL INPUTS						
V _{IN(1)}	Logical "1" Input Voltage		V _{CC} -1.5			V
V _{IN(0)}	Logical "0" Input Voltage				1.5	V
I _{IN(1)}	Logical "1" Input Current (The Control Inputs)	V _{IN} =15V			1.0	µA
I _{IN(0)}	Logical "0" Input Current (The Control Inputs)	V _{IN} =0	-1.0			µA
I _{CC}	Supply Current	f _{CLK} =640 kHz		0.3	3.0	mA

Electrical Characteristics (Continued)

Digital Levels and DC Specifications: ADC0808CCN, ADC0808CCV, ADC0809CCN and ADC0809CCV, $4.75sV_{CC} \leq 5.25V$, $-40^{\circ}C \leq T_A \leq +85^{\circ}C$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
DATA OUTPUTS AND EOC (INTERRUPT)						
$V_{OUT(1)}$	Logical "1" Output Voltage	$V_{CC} = 4.75V$ $I_{OUT} = -360\mu A$ $I_{OUT} = -10\mu A$		2.4 4.5		V(min) V(min)
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" Output Voltage	$I_O = 1.6 \text{ mA}$			0.45	V
$V_{OUT(EOC)}$	Logical "0" Output Voltage EOC	$I_O = 1.2 \text{ mA}$			0.45	V
I_{OUT}	TRI-STATE Output Current	$V_O = 5V$ $V_O = 0$	-3		3	μA μA

Electrical Characteristics

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

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
t_{WS}	Minimum Start Pulse Width	(Figure 5)		100	200	ns
t_{WALE}	Minimum ALE Pulse Width	(Figure 5)		100	200	ns
t_s	Minimum Address Set-Up Time	(Figure 5)		25	50	ns
t_H	Minimum Address Hold Time	(Figure 5)		25	50	ns
t_D	Analog MUX Delay Time From ALE	$R_S = 0\Omega$ (Figure 5)		1	2.5	μs
t_{H1}, t_{H0}	OE Control to Q Logic State	$C_L = 50 \text{ pF}$, $R_L = 10k$ (Figure 8)		125	250	ns
t_{H1}, t_{OH}	OE Control to Hi-Z	$C_L = 10 \text{ pF}$, $R_L = 10k$ (Figure 8)		125	250	ns
t_c	Conversion Time	$f_c = 640 \text{ kHz}$, (Figure 5) (Note 7)	90	100	116	μs
f_c	Clock Frequency		10	640	1280	kHz
t_{EOC}	EOC Delay Time	(Figure 5)	0		8+2	μs Clock Periods
C_{IN}	Input Capacitance	At Control Inputs		10	15	pF
C_{OUT}	TRI-STATE Output Capacitance	At TRI-STATE Outputs		10	15	pF

Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its specified operating conditions.

Note 2: All voltages are measured with respect to GND, unless otherwise specified.

Note 3: A zener diode exists, internally, from V_{CC} to GND and has a typical breakdown voltage of $7 V_{DC}$.

Note 4: Two on-chip diodes are tied to each analog input which will forward conduct for analog input voltages one diode drop below ground or one diode drop greater than the V_{CC} supply. The spec allows 100 mV forward bias of either diode. This means that as long as the analog V_{IN} does not exceed the supply voltage by more than 100 mV, the output code will be correct. To achieve an absolute 0V_{DC} to 5V_{DC} input voltage range will therefore require a minimum supply voltage of $4.900 V_{DC}$ over temperature variations, initial tolerance and loading.

Note 5: Total unadjusted error includes offset, full-scale, linearity, and multiplexer errors. See Figure 3. None of these A/Ds requires a zero or full-scale adjust. However, if an all zero code is desired for an analog input other than 0.0V, or if a narrow full-scale span exists (for example: 0.5V to 4.5V full-scale) the reference voltages can be adjusted to achieve this. See Figure 13.

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

Note 7: The outputs of the data register are updated one clock cycle before the rising edge of EOC.

Note 8: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k Ω resistor.

Functional Description

Multiplexer. The device contains an 8-channel single-ended analog signal multiplexer. A particular input channel is selected by using the address decoder. Table 1 shows the input states for the address lines to select any channel. The address is latched into the decoder on the low-to-high transition of the address latch enable signal.

TABLE 1.

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

CONVERTER CHARACTERISTICS

The Converter

The heart of this single chip data acquisition system is its 8-bit analog-to-digital converter. The converter is designed to give fast, accurate, and repeatable conversions over a wide range of temperatures. The converter is partitioned into 3 major sections: the 256R ladder network, the successive approximation register, and the comparator. The converter's digital outputs are positive true.

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

The bottom resistor and the top resistor of the ladder network in Figure 1 are not the same value as the remainder of the network. The difference in these resistors causes the output characteristic to be symmetrical with the zero and full-scale points of the transfer curve. The first output transition occurs when the analog signal has reached $+1/2$ LSB and succeeding output transitions occur every 1 LSB later up to full-scale.

The successive approximation register (SAR) performs 8 iterations to approximate the input voltage. For any SAR type converter, n -iterations are required for an n -bit converter. Figure 2 shows a typical example of a 3-bit converter. In the ADC0808, ADC0809, the approximation technique is extended to 8 bits using the 256R network.

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

The most important section of the A/D converter is the comparator. It is this section which is responsible for the ultimate accuracy of the entire converter. It is also the comparator drift which has the greatest influence on the repeatability of the device. A chopper-stabilized comparator provides the most effective method of satisfying all the converter requirements.

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

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

Functional Description (Continued)

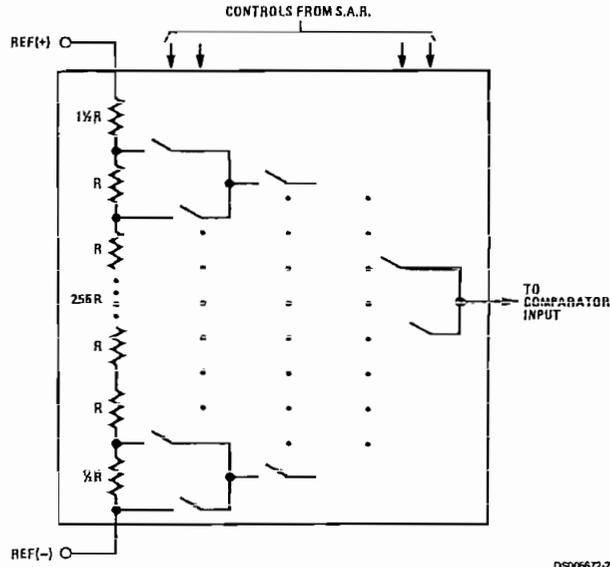
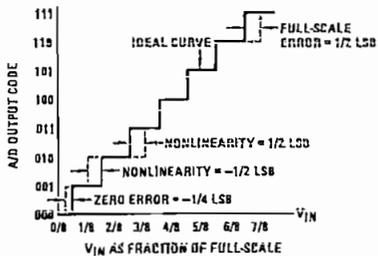


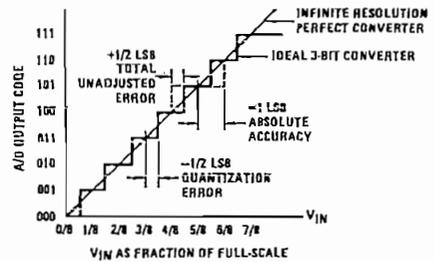
FIGURE 1. Resistor Ladder and Switch Tree

DS000672-2



DS000672-13

FIGURE 2. 3-Bit A/D Transfer Curve



DS000672-14

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

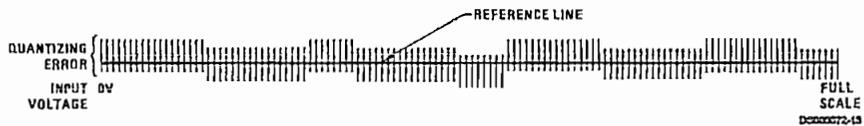


FIGURE 4. Typical Error Curve

DS000672-15

Table 1. Proliferation Options

	*Standard	-1	-2	-24
80C31BH	X	X	X	X
80C51BH	X	X	X	X
80C51BHP	X	X	X	X
87C51	X	X	X	X

NOTES:

- * 3.5 MHz to 12 MHz; V_{CC} = 5V ±20%
- 1 3.5 MHz to 16 MHz; V_{CC} = 5V ±20%
- 2 0.5 MHz to 12 MHz; V_{CC} = 5V ±20%
- 24 3.5 MHz to 24 MHz; V_{CC} = 5V ±20%

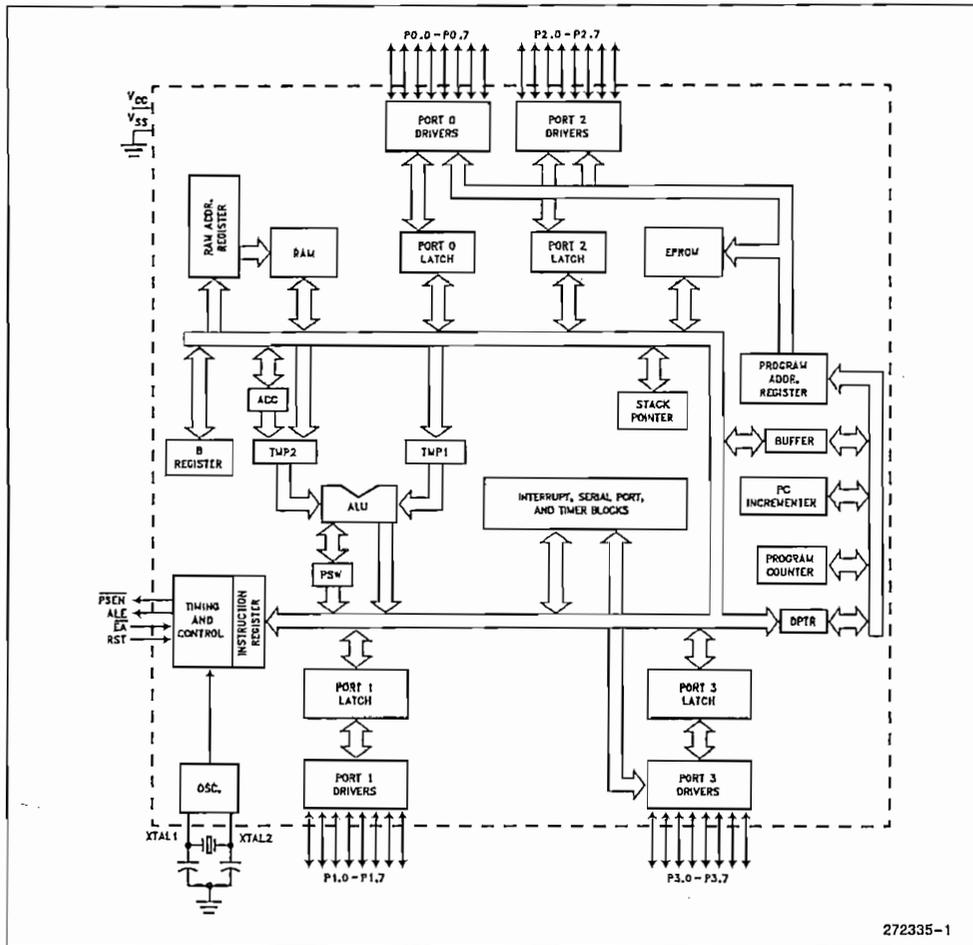


Figure 1. 87C51/BH Block Diagram

PROCESS INFORMATION

The 87C51/BH is manufactured on the CHMOS III-E process. Additional process and reliability information is available in Intel's *Components Quality and Reliability Handbook*, Order No. 210997.

PACKAGES

Part	Prefix	Package Type
87C51/BH	P	40-Pin Plastic DIP (OTP)
	D	40-Pin CERDIP (EPROM)
	N	44-Pin PLCC (OTP)
	S	44-Pin QFP (OTP)

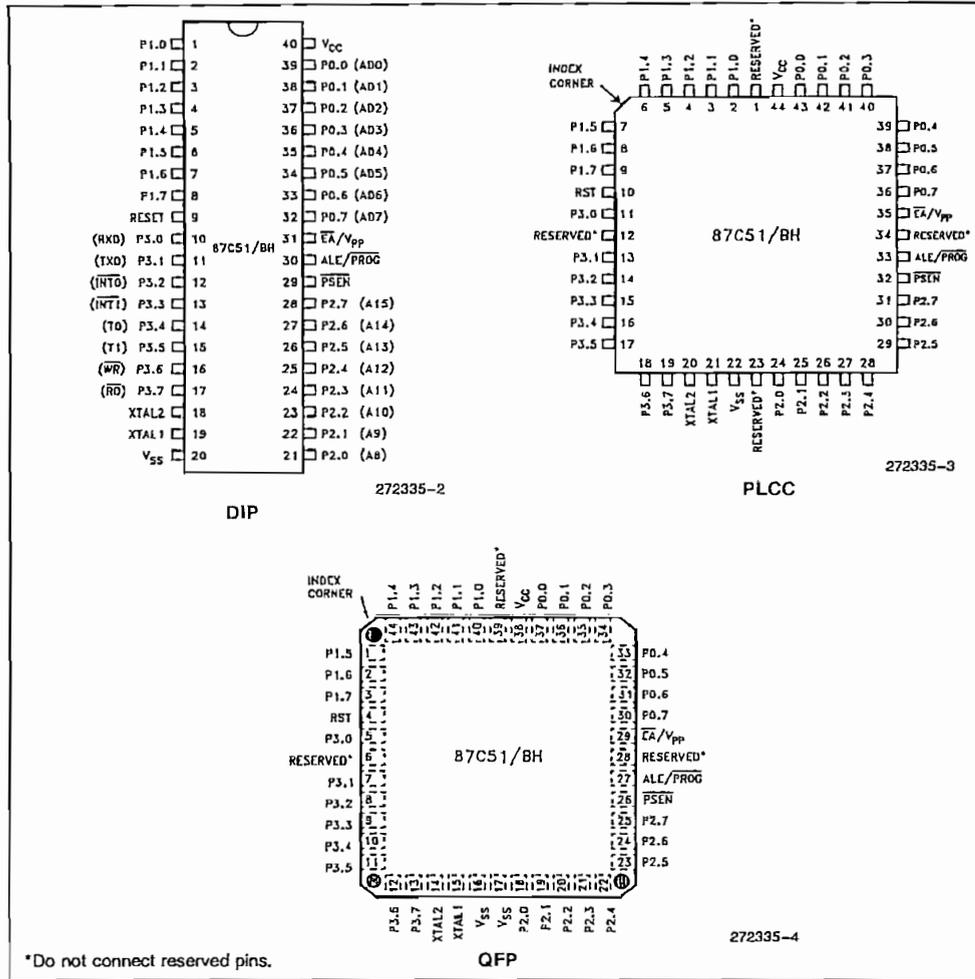


Figure 2. Pin Connections

PIN DESCRIPTION

V_{CC}: Supply voltage during normal, Idle and Power Down operations.

V_{SS}: Circuit ground.

Port 0: Port 0 is an 8-bit open drain bidirectional I/O port. As an output port each pin can sink several LS TTL inputs. Port 0 pins that have 1's written to them float, and in that state can be used as high-impedance inputs.

Port 0 is also the multiplexed low-order address and data bus during accesses to external memory. In this application it uses strong internal pullups when emitting 1's.

Port 0 also receives the code bytes during EPROM programming, and outputs the code bytes during program verification. External pullups are required during program verification.

Port 1: Port 1 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. The Port 1 output buffers can drive LS TTL inputs. Port 1 pins that have 1's written to them are pulled high by the internal pullups, and in that state can be used as inputs. As inputs, Port 1 pins that are externally pulled low will source current (I_{IL} , on the data sheet) because of the internal pullups.

Port 1 also receives the low-order address bytes during EPROM programming and program verification.

Port 2: Port 2 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. Port 2 pins that have 1's written to them are pulled high by the internal pullups, and in that state can be used as inputs. As inputs, Port 2 pins that are externally pulled low will source current (I_{IL} , on the data sheet) because of the internal pullups.

Port 2 emits the high-order address byte during fetches from external Program memory and during accesses to external Data Memory that use 16-bit address (MOVX @DPTR). In this application it uses strong internal pullups when emitting 1's.

During accesses to external Data Memory that use 8-bit addresses (MOVX @RI), Port 2 emits the contents of the P2 Special Function Register.

Port 2 also receives some control signals and the high-order address bits during EPROM programming and program verification.

Port 3: Port 3 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. The Port 3 output buffers can drive LS TTL inputs. Port 3 pins that have 1's written to them are pulled high by the internal pullups, and in that state can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally pulled low will source current (I_{IL} , on the data sheet) because of the pullups.

Port 3 also serves the functions of various special features of the MCS-51 Family, as listed below:

Pin	Name	Alternate Function
P3.0	RXD	Serial input line
P3.1	TXD	Serial output line
P3.2	$\overline{\text{INT0}}$	External Interrupt 0
P3.3	$\overline{\text{INT1}}$	External Interrupt 1
P3.4	T0	Timer 0 external input
P3.5	T1	Timer 1 external input
P3.6	$\overline{\text{WR}}$	External Data Memory Write strobe
P3.7	$\overline{\text{RD}}$	External Data Memory Read strobe

Port 3 also receives some control signals for EPROM programming and program verification.

RST: Reset input. A high on this pin for two machine cycles while the oscillator is running resets the device. The port pins will be driven to their reset condition when a minimum V_{IH1} voltage is applied whether the oscillator is running or not. An internal pull-down resistor permits a power-on reset with only a capacitor connected to V_{CC} .

ALE/ $\overline{\text{PROG}}$: Address Latch Enable output signal for latching the low byte of the address during accesses to external memory. This pin is also the program pulse input ($\overline{\text{PROG}}$) during EPROM programming for the 87C51.

If desired, ALE operation can be disabled by setting bit 0 of SFR location 8EH. With this bit set, the pin is weakly pulled high. However, the ALE disable feature will be suspended during a MOVX or MOVC instruction, idle mode, power down mode and ICE mode. The ALE disable feature will be terminated by reset. When the ALE disable feature is suspended or terminated, the ALE pin will no longer be pulled up weakly. Setting the ALE-disable bit has no effect if the microcontroller is in external execution mode.

In normal operation ALE is emitted at a constant rate of 1/6 the oscillator frequency, and may be used for external timing or clocking purposes. Note, however, that one ALE pulse is skipped during each access to external Data Memory.

PSEN: Program Store Enable is the Read strobe to External Program Memory. When the 87C51/BH is executing from Internal Program Memory, PSEN is inactive (high). When the device is executing code from External Program Memory, PSEN is activated twice each machine cycle, except that two PSEN activations are skipped during each access to External Data Memory.

EA/Vpp: External Access enable. EA must be strapped to VSS in order to enable the 87C51/BH to fetch code from External Program Memory locations starting at 0000H up to FFFFH. Note, however, that if either of the Lock Bits is programmed, the logic level at EA is internally latched during reset.

EA must be strapped to VCC for internal program execution.

This pin also receives the programming supply voltage (Vpp) during EPROM programming.

XTAL1: Input to the inverting oscillator amplifier.

XTAL2: Output from the inverting oscillator amplifier.

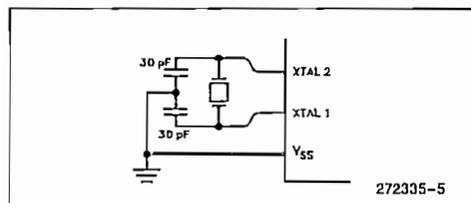


Figure 3. Using the On-Chip Oscillator

OSCILLATOR CHARACTERISTICS

XTAL1 and XTAL2 are the input and output, respectively, of an inverting amplifier which can be configured for use as an on-chip oscillator, as shown in Figure 3.

To drive the device from an external clock source, XTAL1 should be driven, while XTAL2 is left unconnected, as shown in Figure 4. There are no requirements on the duty cycle of the external clock signal, since the input to the internal clocking circuitry is through a divide-by-two flip-flop, but minimum and maximum high and low times specified on the data sheet must be observed.

An external oscillator may encounter as much as a 100 pF load at XTAL1 when it starts up. This is due to interaction between the amplifier and its feedback capacitance. Once the external signal meets the VIL and VIH specifications the capacitance will not exceed 20 pF.

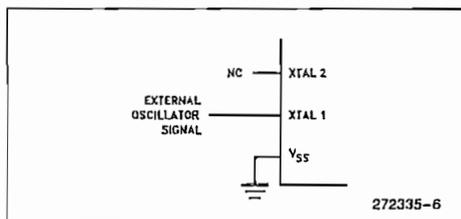


Figure 4. External Clock Drive



IDLE MODE

In Idle Mode, the CPU puts itself to sleep while all the on-chip peripherals remain active. The mode is invoked by software. The content of the on-chip RAM and all the Special Functions Registers remain unchanged during this mode. The Idle Mode can be terminated by any enabled interrupt or by a hardware reset.

It should be noted that when Idle is terminated by a hardware reset, the device normally resumes program execution, from where it left off, up to two machine cycles before the internal reset algorithm takes control. On-chip hardware inhibits access to internal RAM in this event, but access to the port pins is not inhibited. To eliminate the possibility of an unexpected write to a port pin when Idle is terminated by reset, the instruction following the one that invokes Idle should not be one that writes to a port pin or to external memory.

POWER DOWN MODE

To save even more power, a Power Down mode can be invoked by software. In this mode, the oscillator is stopped and the instruction that invoked Power Down is the last instruction executed. The on-chip RAM and Special Function Registers retain their values until the Power Down mode is transmitted.

On the 87C51/BH either a hardware reset or an external interrupt can cause an exit from Power Down. Reset redefines all the SFR's but does not change

the on-chip RAM. An external interrupt allows both the SFRs and on-chip RAM to retain their values.

To properly terminate Power Down, the reset or external interrupt should not be executed before V_{CC} is restored to its normal operating level, and must be held active long enough for the oscillator to restart and stabilize (normally less than 10 ms).

With an external interrupt INT0 and INT1 must be enabled and configured as level-sensitive. Holding the pin low restarts the oscillator but bringing the pin back high completes the exit. Once the interrupt is serviced, the next instruction to be executed after RET1 will be the one following the instruction that put the device into Power Down.

DESIGN CONSIDERATIONS

- Exposure to light when the device is in operation may cause logic errors. For this reason, it is suggested that an opaque label be placed over the window when the die is exposed to ambient light.
- The 87C51/BH now have some additional features. The features are: asynchronous port reset, 4 interrupt priority levels, power off flag, ALE disable, serial port automatic address recognition, serial port framing error detection, 64-byte encryption array, and 3 program lock bits. These features cannot be used with the older versions of 80C51BH/80C31BH. The newer version of 80C51BH/80C31BH will have change identifier "A" appended to the lot number.

Table 2. Status of the External Pins during Idle and Power Down

Mode	Program Memory	ALE	\overline{PSEN}	PORT0	PORT1	PORT2	PORT3
Idle	Internal	1	1	Data	Data	Data	Data
Idle	External	1	1	Float	Data	Address	Data
Power Down	Internal	0	0	Data	Data	Data	Data
Power Down	External	0	0	Float	Data	Data	Data



ONCE MODE

The ONCE ("On-Circuit Emulation") mode facilitates testing and debugging of systems using the 87C51/BH without the 87C51/BH having to be removed from the circuit. The ONCE mode is invoked by:

1. Pull ALE low while the device is in reset and PSEN is high;
2. Hold ALE low as RST is deactivated.

While the device is in ONCE mode, the Port 0 pins float, and the other port pins and ALE and PSEN are weakly pulled high. The oscillator circuit remains active. While the 87C51/BH is in this mode, an emulator or test CPU can be used to drive the circuit. Normal operation is restored when a normal reset is applied.

87C51/BH EXPRESS

The Intel EXPRESS system offers enhancements to the operational specifications of the MCS-51 family of microcontrollers. These EXPRESS products are designed to meet the needs of those applications whose operating requirements exceed commercial temperature.

The EXPRESS program includes the commercial standard temperature range with burn-in and an extended temperature range with or without burn-in.

With the commercial standard temperature range, operational characteristics are guaranteed over the temperature range of 0°C to 70°C. With the extended temperature range option, operational characteristics are guaranteed over the range of -40°C to +85°C.

The optional burn-in is dynamic for a minimum time of 160 hours at 125°C with $V_{CC} = 6.9V \pm 0.25V$, following guidelines in MIL-STD-883, Method 1015.

Package types and EXPRESS versions are identified by a one- or two-letter prefix to the part number. The prefixes are listed in Table 3.

For the extended temperature range option, this data sheet specifies the parameters which deviate from their commercial temperature range limits.

Table 3. Prefix Identification

Prefix	Package Type	Temperature Range	Burn-in
P	Plastic	Commercial	No
D	Cerdip	Commercial	No
N	PLCC	Commercial	No
S	QFP	Commercial	No
TP	Plastic	Extended	No
TD	Cerdip	Extended	No
TN	PLCC	Extended	No
TS	QFP	Extended	No
LP	Plastic	Extended	Yes
LD	Cerdip	Extended	Yes
LN	PLCC	Extended	Yes

NOTE:
Contact distributor or local sales office to match EXPRESS prefix to proper device.

Examples:

P87C51 indicates 87C51 in a plastic package and specified for commercial temperature range, without burn-in.

LD87C51 indicates 87C51 in a cerdip package and specified for extended temperature range with burn-in.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS*

Ambient Temperature Under Bias -40°C to $+85^{\circ}\text{C}$
 Storage Temperature -65°C to $+150^{\circ}\text{C}$
 Voltage on $\overline{\text{EA}}/\text{V}_{\text{PP}}$ Pin to V_{SS} 0V to $+13.0\text{V}$
 Voltage on Any Other Pin to V_{SS} -0.5V to $+6.5\text{V}$
 Maximum I_{OL} per I/O Pin 15 mA
 Power Dissipation 1.5W
 (Based on package heat transfer limitations, not device power consumption.)

NOTICE: This data sheet contains preliminary information on new products in production. It is valid for the devices indicated in the revision history. The specifications are subject to change without notice.

**WARNING: Stressing the device beyond the "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage. These are stress ratings only. Operation beyond the "Operating Conditions" is not recommended and extended exposure beyond the "Operating Conditions" may affect device reliability.*

OPERATING CONDITIONS

Symbol	Description	Min	Max	Unit
T_{A}	Ambient Temperature Under Bias			
	Commercial	0	+70	$^{\circ}\text{C}$
	Express	-40	+85	$^{\circ}\text{C}$
V_{CC}	Supply Voltage	4.5	5.5	V
f_{OSC}	Oscillator Frequency			MHz
	87C51/BH	3.5	12	
	87C51-1/BH-1	3.5	16	
	87C51-2/BH-2	0.5	12	
	87C51-24/BH-24	3.5	24	

DC CHARACTERISTICS (Over Operating Conditions)

All parameter values apply to all devices unless otherwise indicated.

Symbol	Parameter	Min	Typ(1)	Max	Unit	Test Conditions
V_{IL}	Input Low Voltage					
	Commercial	-0.5		$0.2 \text{V}_{\text{CC}} - 0.1$	V	
	Express	-0.5		$0.2 \text{V}_{\text{CC}} - 0.15$	V	
V_{IL1}	Input Low Voltage $\overline{\text{EA}}$					
	Commercial	0		$0.2 \text{V}_{\text{CC}} - 0.3$	V	
	Express	-0.5		$0.2 \text{V}_{\text{CC}} - 0.35$	V	
V_{IH}	Input High Voltage (Except XTAL1, RST)					
	Commercial	$0.2 \text{V}_{\text{CC}} + 0.9$		$\text{V}_{\text{CC}} + 0.5$	V	
	Express	$0.2 \text{V}_{\text{CC}} + 1$		$\text{V}_{\text{CC}} + 0.5$	V	
V_{IH1}	Input High Voltage (XTAL1, RST)					
	Commercial	0.7V_{CC}		$\text{V}_{\text{CC}} + 0.5$	V	
	Express	$0.7 \text{V}_{\text{CC}} + 0.1$		$\text{V}_{\text{CC}} + 0.5$	V	
V_{OL}	Output Low Voltage ⁽⁶⁾ (Ports 1, 2, 3)			0.3	V	$\text{I}_{\text{OL}} = 100 \mu\text{A}^{(2)}$
				0.45	V	$\text{I}_{\text{OL}} = 1.6 \text{ mA}^{(2)}$
				1.0	V	$\text{I}_{\text{OL}} = 3.5 \text{ mA}^{(2)}$

DC CHARACTERISTICS (Over Operating Conditions) (Continued)

Symbol	Parameter	Min	Typ(1)	Max	Unit	Test Conditions
V _{OL1}	Output Low Voltage ⁽⁶⁾ (Port 0, ALE, PSEN)			0.3	V	I _{OL} = 200 μA ⁽²⁾
				0.45	V	I _{OL} = 3.2 mA ⁽²⁾
				1.0	V	I _{OL} = 7.0 mA ⁽²⁾
V _{OH}	Output High Voltage (Ports 1, 2, 3, ALE, PSEN)	V _{CC} - 0.3			V	I _{OH} = -10 μA ⁽³⁾
		V _{CC} - 0.7			V	I _{OH} = -30 μA ⁽³⁾
		V _{CC} - 1.5			V	I _{OH} = -60 μA ⁽³⁾
V _{OH1}	Output High Voltage (Port 0 in External Bus Mode)	V _{CC} - 0.3			V	I _{OH} = -200 μA ⁽³⁾
		V _{CC} - 0.7			V	I _{OH} = -3.2 mA ⁽³⁾
		V _{CC} - 1.5			V	I _{OH} = -7.0 mA ⁽³⁾
I _{IL}	Logical 0 Input Current (Ports 1, 2, 3) Commercial Express			-50	μA	V _{IN} = 0.45V
				-75	μA	
I _{LI}	Input Leakage Current (Port 0)			±10	μA	0.45 < V _{IN} < V _{CC}
I _{TL}	Logical 1-to-0 Transition Current (Ports 1, 2, 3) Commercial Express			-650	μA	V _{IN} = 2V
				-750	μA	
RRST	RST Pulldown Resistor	40		225	kΩ	
C _{IO}	Pin Capacitance		10		pF	@ 1 MHz, 25°C
I _{CC}	Power Supply Current Active Mode @ 12 MHz (Figure 5) @ 16 MHz @ 24 MHz Idle Mode @ 12 MHz (Figure 5) @ 16 MHz @ 24 MHz Power Down Mode		11.5	20	mA	(Note 4)
				26	mA	
				38	mA	
			3.5	7.5	mA	
				9.5	mA	
				13.5	mA	
		5	50	μA		

NOTES:

1. "Typicals" are based on a limited number of samples taken from early manufacturing lots and are not guaranteed. The values listed are at room temp, 5V.
2. Capacitive loading on Ports 0 and 2 may cause noise pulses above 0.4V to be superimposed on the V_{OLs} of ALE and Ports 1, 2 and 3. The noise is due to external bus capacitance discharging into the Port 0 and Port 2 pins when these pins change from 1 to 0. In applications where capacitive loading exceeds 100 pF, the noise pulses on these signals may exceed 0.8V. It may be desirable to qualify ALE or other signals with a Schmitt Trigger, or CMOS-level input logic.
3. Capacitive loading on Ports 0 and 2 may cause the V_{OH} on ALE and PSEN to momentarily fall below the $0.9V_{CC}$ specification when the address bits are stabilizing.
4. See Figures 6 through 8 for I_{CC} test conditions. Minimum V_{CC} for Power Down is 2V.
5. Under steady state (non-transient) conditions, I_{OL} must be externally limited as follows:

Maximum I_{OL} per port pin:	10 mA
Maximum I_{OL} per 8-bit port—	
Port 0:	26 mA
Ports 1, 2, and 3:	15 mA
Maximum total I_{OL} for all output pins:	71 mA

If I_{OL} exceeds the test condition, V_{OL} may exceed the related specification.
 Pins are not guaranteed to sink greater than the listed test conditions.

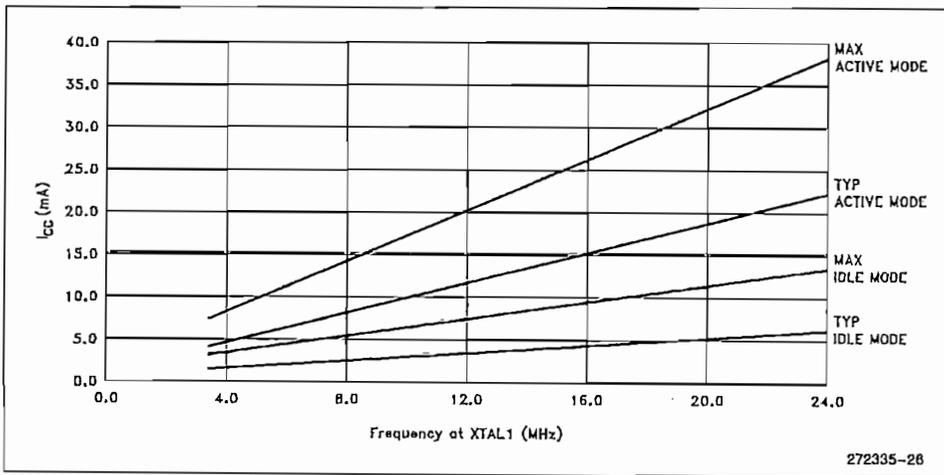


Figure 5. 87C51/BH I_{CC} vs Frequency

CD4066BC Quad Bilateral Switch

General Description

The CD4066BC is a quad bilateral switch intended for the transmission or multiplexing of analog or digital signals. It is pin-for-pin compatible with CD4016BC, but has a much lower "ON" resistance, and "ON" resistance is relatively constant over the input-signal range.

Features

- Wide supply voltage range 3V to 15V
- High noise immunity $0.45 V_{DD}$ (typ.)
- Wide range of digital and $\pm 7.5 V_{PEAK}$ analog switching
- "ON" resistance for 15V operation 80 Ω
- Matched "ON" resistance $\Delta R_{ON} = 5\Omega$ (typ.) over 15V signal input
- "ON" resistance flat over peak-to-peak signal range
- High "ON"/"OFF" 65 dB (typ.) output voltage ratio @ $f_{is} = 10$ kHz, $R_L = 10$ k Ω

- High degree linearity 0.1% distortion (typ.)
- High degree linearity @ $f_{is} = 1$ kHz, $V_{is} = 5V_{p-p}$
- High degree linearity $V_{DD} - V_{SS} = 10V$, $R_L = 10$ k Ω
- Extremely low "OFF" 0.1 nA (typ.) switch leakage: @ $V_{DD} - V_{SS} = 10V$, $T_A = 25^\circ C$
- Extremely high control input impedance $10^{12}\Omega$ (typ.)
- Low crosstalk -50 dB (typ.) between switches @ $f_{is} = 0.9$ MHz, $R_L = 1$ k Ω
- Frequency response, switch "ON" 40 MHz (typ.)

Applications

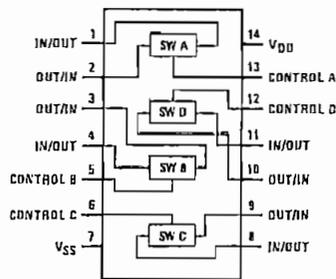
- Analog signal switching/multiplexing
- Signal gating
- Squelch control
- Chopper
- Modulator/Demodulator
- Commutating switch
- Digital signal switching/multiplexing
- CMOS logic implementation
- Analog-to-digital/digital-to-analog conversion
- Digital control of frequency, impedance, phase, and analog-signal-gain

Ordering Code:

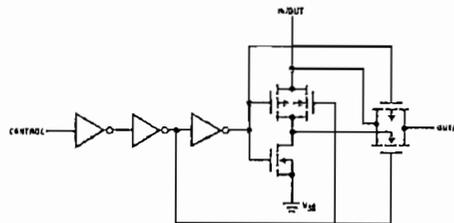
Order Number	Package Number	Package Description
CD4066BCM	M14A	14-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-120, 0.150 Narrow
CD4066BCSJ	M14D	14-Lead Small Outline Package (SOP), EIAJ TYPE II, 5.3mm Wide
CD4066BCN	N14A	14-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300 Wide

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

Connection Diagram



Schematic Diagram



Absolute Maximum Ratings

(Note 1)
(Note 2)

Supply Voltage (V_{DD})	-0.5V to +18V
Input Voltage (V_{IN})	-0.5V to $V_{CC}+0.5V$
Storage Temperature Range (T_S)	-65°C to +150°C
Power Dissipation (P_D)	
Dual-In-Line	700 mW
Small Outline	500 mW
Lead Temperature (T_L) (Soldering, 10 seconds)	300°C

Recommended Operating Conditions (Note 2)

Supply Voltage (V_{DD})	3V to 15V
Input Voltage (V_{IN})	0V to V_{DD}
Operating Temperature Range (T_A)	-40°C to +85°C

Note 1: "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. They are not meant to imply that the devices should be operated at these limits. The tables of "Recommended Operating Conditions" and "Electrical Characteristics" provide conditions for actual device operation.

Note 2: $V_{SS} = 0V$ unless otherwise specified.

DC Electrical Characteristics (Note 2)

Symbol	Parameter	Conditions	-40°C		+25°C			+85°C		Units
			Min	Max	Min	Typ	Max	Min	Max	
I_{DD}	Quiescent Device Current	$V_{DD} = 5V$		1.0		0.01	1.0		7.5	μA
		$V_{DD} = 10V$		2.0		0.01	2.0		15	μA
		$V_{DD} = 15V$		4.0		0.01	4.0		30	μA

SIGNAL INPUTS AND OUTPUTS

R_{ON}	"ON" Resistance	$R_L = 10\text{ k}\Omega$ to ($V_{DD} = V_{SS}/2$) $V_C = V_{DD}, V_{SS}$ to V_{DD} $V_{DD} = 5V$ $V_{DD} = 10V$ $V_{DD} = 15V$		850 330 210		270 120 80	1050 400 240		1200 520 300	Ω Ω Ω
ΔR_{ON}	Δ "ON" Resistance Between Any 2 of 4 Switches	$R_L = 10\text{ k}\Omega$ to ($V_{DD} = V_{SS}/2$) $V_{CC} = V_{DD}, V_{IS} = V_{SS}$ to V_{DD} $V_{DD} = 10V$ $V_{DD} = 15V$				10 5				Ω Ω
I_{IS}	Input or Output Leakage Switch "OFF"	$V_C = 0$		± 50		± 0.1	± 50		± 200	nA

CONTROL INPUTS

V_{ILC}	LOW Level Input Voltage	$V_{IS} = V_{SS}$ and V_{DD} $V_{OS} = V_{DD}$ and V_{SS} $I_{IS} = \pm 10\mu A$ $V_{DD} = 5V$ $V_{DD} = 10V$ $V_{DD} = 15V$		1.5 3.0 4.0		2.25 4.5 6.75	1.5 3.0 4.0		1.5 3.0 4.0	V V V
V_{IHC}	HIGH Level Input Voltage	$V_{DD} = 5V$ $V_{DD} = 10V$ (Note 7) $V_{DD} = 15V$	3.5 7.0 11.0		3.5 7.0 11.0	2.75 5.5 8.25		3.5 7.0 11.0		V V V
I_{IN}	Input Current	$V_{DD} - V_{SS} = 15V$ $V_{DD} \geq V_{IS} \geq V_{SS}$ $V_{DD} \geq V_C \geq V_{SS}$		± 0.3		$\pm 10^{-9}$	± 0.3		± 1.0	μA

AC Electrical Characteristics (Note 3)						
T _A = 25°C, t _r = t _f = 20 ns and V _{SS} = 0V unless otherwise noted						
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
t _{PHL} , t _{PLH}	Propagation Delay Time Signal Input to Signal Output	V _O = V _{DD} , C _L = 50 pF, (Figure 1) R _L = 200k V _{DD} = 5V V _{DD} = 10V V _{DD} = 15V		25 15 10	55 35 25	ns ns ns
t _{PZH} , t _{PZL}	Propagation Delay Time Control Input to Signal Output High Impedance to Logical Level	R _L = 1.0 kΩ, C _L = 50 pF, (Figure 2, Figure 3) V _{DD} = 5V V _{DD} = 10V V _{DD} = 15V			125 60 50	ns ns ns
t _{PZH} , t _{PLZ}	Propagation Delay Time Control Input to Signal Output Logical Level to High Impedance Sine Wave Distortion Frequency Response-Switch "ON" (Frequency at -3 dB)	R _L = 1.0 kΩ, C _L = 50 pF, (Figure 2, Figure 3) V _{DD} = 5V V _{DD} = 10V V _{DD} = 15V V _C = V _{DD} = 5V, V _{SS} = -5V R _L = 10 kΩ, V _{IS} = 5V _{p-p} , f = 1 kHz, (Figure 4) V _C = V _{DD} = 5V, V _{SS} = -5V, R _L = 1 kΩ, V _{IS} = 5V _{p-p} , 20 Log ₁₀ V _{OS} /V _{OS} (1 kHz)-dB, (Figure 4)		0.1 40	125 60 50	ns ns ns % MHz
	Feedthrough — Switch "OFF" (Frequency at -50 dB)	V _{DD} = 5.0V, V _{CC} = V _{SS} = -5.0V, R _L = 1 kΩ, V _{IS} = 5.0V _{p-p} , 20 Log ₁₀ V _{OS} /V _{IS} = -50 dB, (Figure 4)		1.25		
	Crosstalk Between Any Two Switches (Frequency at -50 dB)	V _{DD} = V _{C(A)} = 5.0V, V _{SS} = V _{C(B)} = 5.0V, R _L = 1 kΩ, V _{IS(A)} = 5.0 V _{p-p} , 20 Log ₁₀ V _{OS(B)} /V _{IS(A)} = -50 dB (Figure 5)		0.9		MHz
	Crosstalk; Control Input to Signal Output	V _{DD} = 10V, R _L = 10 kΩ, R _{IN} = 1.0 kΩ, V _{CC} = 10V Square Wave, C _L = 50 pF (Figure 6)		150		mV _{p-p}
	Maximum Control Input	R _L = 1.0 kΩ, C _L = 50 pF, (Figure 7) V _{OS(f)} = 1/2 V _{OS} (1.0 kHz) V _{DD} = 5.0V V _{DD} = 10V V _{DD} = 15V		6.0 8.0 8.5		MHz MHz MHz
C _{IS}	Signal Input Capacitance			8.0		pF
C _{OS}	Signal Output Capacitance	V _{DD} = 10V		8.0		pF
C _{IOS}	Feedthrough Capacitance	V _C = 0V		0.5		pF
C _{IN}	Control Input Capacitance			5.0	7.5	pF

Note 3: AC Parameters are guaranteed by DC correlated testing.

Note 4: These devices should not be connected to circuits with the power "ON".

Note 5: In all cases, there is approximately 5 pF of probe and jig capacitance in the output; however, this capacitance is included in C_L wherever it is specified.

Note 6: V_{IS} is the voltage at the In/out pin and V_{OS} is the voltage at the out/in pin. V_C is the voltage at the control input.

Note 7: Conditions for V_{IH}(c): a) V_{IS} = V_{DD}, I_{OS} = standard B series I_{OHI} b) V_{IS} = 0V, I_{OL} = standard B series I_{OL}.