



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN CONTROLADOR DIFUSO
DE TEMPERATURA AMBIENTAL
BASADO EN VENTILADOR.**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO ELÉCTRICO – ELECTRÓNICO
PRESENTA:**

OSCAR RUBELIO RAMOS GÓMEZ.

DIRECTOR DE TESIS:

M.I. BENJAMÍN VALERA OROZCO



MÉXICO D.F. CIUDAD UNIVERSITARIA NOVIEMBRE 2004.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

*EL CONOCIMIENTO Y LA PRÁCTICA DE LA CIENCIA,
EL ARTE Y EL DEPORTE SON ALIMENTO
Y ARMA PARA EL ESPÍRITU HUMANO.*

OSCAR RUBELIO 53

DIOS NO JUEGA A LOS DADOS CON EL UNIVERSO.

EINSTEIN

NADA PERDURA SINO EL CAMBIO.

HERÁCLITO

*EL TIEMPO DICE LO QUE EL DESTINO CALLA
CAUSA – EFECTO ESTAN SIEMPRE LIGADOS
ESTUDIAR LA CAUSA DOMINA EL EFECTO
EFECTUANDO EL ESTUDIO SE CONOCE EL UNIVERSO.*

OSCAR RUBELIO 78

*NADA EN EL MUNDO PUEDE SUSTITUIR A LA PERSEVERANCIA
NO LO PUEDE EL TALENTO;
NADA HAY MÁS COMÚN QUE LOS FRACASADOS CON TALENTO.
NO LO PUEDE EL GENIO;
EL GENIO NO RETRIBUIDO ES CASI PROVERBIAL.
LA CULTURA NO LO PUEDE;
EL MUNDO ESTA LLENO DE CULTOS DERROTADOS.
LA PERSISTENCIA Y LA DETERMINACIÓN LO PUEDEN TODO.
EL LEMA “SIGUE ADELANTE” SIEMPRE HA RESUELTO
Y SIEMPRE RESOLVERÁ LOS PROBLEMAS
DE LA RAZA HUMANA.*

CALVIN COOLIDGE

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS

SIENDO HONESTO CON EL VALOR Y LA FUERZA QUE ME PERMITIÓ LLEGAR A ESTE MOMENTO ESPECIAL AGRADEZCO LA PRÁCTICA DE FÉ QUE ALGUIEN EN ESTE MUNDO ENSEÑO A CREER EN ELLA.

JESUCRISTO

AGRADEZCO Y DEDICO ESTA TESIS A MI GRAN MAESTRO Y MI GRAN AMIGO POR TODA LA SABIDURÍA QUE ME HA OTORGADO Y ENSEÑADO, POR TODAS LAS COSAS QUE DE ÉL HE APRENDIDO Y DE LOS VALORES DE LA VIDA QUE LE HE ADMIRADO Y PORQUE DURANTE TODA MI VIDA SIEMPRE ME HA APOYADO.

A MI PADRE OSCAR RUBELIO RAMOS GÓMEZ

AGRADEZCO Y DEDICO ESTA TESIS A QUIEN ME DIO LA VIDA, QUIEN ME HA ENSEÑADO LA DICHA EN DÍAS NUBLADOS Y QUE DURANTE TODO EL TIEMPO ME HA OTORGADO UN APOYO CONSTANTE EN TODO MOMENTO, A QUIEN MUCHO LE HE ADMIRADO SU FORTALEZA Y FUERZA ANTE LA ADVERSIDAD, LA SABIDURÍA Y EL CONOCIMIENTO

A MI MADRE YOLANDA GÓMEZ HERNÁNDEZ

AGRADEZCO Y DEDICO ESTA TESIS A MI HERMANO POR TODO SU TALENTO E INTELIGENCIA QUIEN ME HA PERMITIDO APRENDER SU TEMPLE, CARÁCTER DE FORTALEZA CONSTANTE EN CADA MOMENTO Y POR TODO SU APOYO CONTINUO COMO GRAN HERMANO QUE ES Y POR SU GRAN SENTIDO DEL HUMOR.

A MI HERMANO OSCAR RUBELIO RAMOS GÓMEZ

AGRADEZCO Y DEDICO ESTA TESIS A MI AMIGO DE LOS QUE ES DIFÍCIL ENCONTRAR POR SU VALÍA COMO LA DE UN HERMANO, LAS COSAS PASAN POR ALGO Y EFECTIVAMENTE PASAN POR ALGO. GRACIAS A SU APOYO Y CONOCIMIENTO, LAS CAUSAS – EFECTOS BRINDAN RESPUESTAS.

A MI AMIGO DANIEL CÓRDOBA ÚRSULA

AGRADEZCO Y DEDICO ESTA TESIS A MI AMIGA A QUIEN CONSIDERO CON MUCHA SAPIENCIA Y CONOCIMIENTO LA CONSTANCIA HACE AL MAESTRO, COMO LA PRÁCTICA HACE AL EXPERTO. AGRADEZCO SU FIRMEZA APOYO Y AMISTAD.

A MI AMIGA YENI ÚRSULA JIMÉNEZ

UN AGRADECIMIENTO ESPECIAL

AL M.I. BENJAMÍN VALERA OROZCO, POR TODO SU APOYO PARA LA REALIZACIÓN DE ESTE PROYECTO EN EL CCADET Y A QUIEN AGRADEZCO LOS CONOCIMIENTOS QUE ME BRINDÓ DURANTE MI ESTANCIA EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA

AL M.I. ANTONIO SALVÁ CALLEJA POR SU APOYO DURANTE DIVERSAS ETAPAS DEL PROYECTO Y POR SU DISEÑO DE TARJETA QUE ME PERMITIÓ SIMPLIFICAR GRANDEMENTE EL PROYECTO EN GENERAL

AL. ING. JESÚS RAMÍREZ ORTEGA POR SU VALIOSA CONTRIBUCIÓN PARA LA REALIZACIÓN FINAL DE ESTE PROYECTO

AL M.I. JOSE CASTILLO HERNÁNDEZ POR CONTRIBUIR EN LA ENSEÑANZA DE LA INGENIERÍA Y A QUIEN AGRADEZCO POR BRINDARME LOS CONOCIMIENTOS QUE OBTUVE DURANTE Y DESPUÉS DE MI ESTANCIA EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA

AL M.I. RICARDO VALERA VELÁZQUEZ POR SU APOYO EN LA REVISIÓN FINAL DE ESTE PROYECTO Y A QUIEN AGRADEZCO EL HABERME OTORGADO SUS CONOCIMIENTOS DURANTE MI ESTANCIA EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA

AGRADEZCO A TODOS AMIGAS Y COMPAÑEROS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA LETICIA POR SU BUEN ÁNIMO, MARICELA POR SU ENTUSIASMO, GRISELDA POR SU ALEGRIA SORPRESIVA, MONICA POR SU FORMA DE VER LA INGENIERÍA, CLAUDIA POR SU APOYO, CAROLINA POR SU OPTIMISMO, MIRIAM POR COMPARTIR SU CONOCIMIENTO, CESAR POR LAS PARTIDAS DE AJEDREZ, LUIS POR SU EXPERIENCIA LABORAL, GABRIEL POR SU BUENA CAMARADERÍA, JESÚS POR SU GRAN COMPAÑERISMO, DAVID POR SU ALEGRÍA, ERIC POR SU AMISTAD VALEDERA, SALVADOR POR LOS DÍAS DE UN BUEN HUMOR, JULIO POR SU OPTIMISMO, DANIEL POR SER UN GRAN AMIGO, IVÁN POR ESA ESPONTANEIDAD, JORGE POR SU CREATIVIDAD, GABRIEL POR ENTUSIASMO, JOSUÉ POR SU ACERTIVIDAD

AGRADEZCO A TODOS MIS PROFESORES DEL CCH Y DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA: MAT. PROF. VICTORIA POPOCA YÁNEZ, LIC. Ma ELENA CANO SALAZAR, ING. ALFREDO ARENAS GONZÁLEZ, ING. YUKIHIRO MINAMI, M.C. ALBERTO SÁNCHEZ MORENO, ING. ERICK CASTAÑEDA, ING. LARRY ESCOBAR, M.I. RICARDO VALERA, DR. PABLO MULAS DEL POZO, M.I. JUAN CARLOS ROA, ING. RICARDO MOTA, ING. BENJAMÍN VALERA OROZCO, ING. RODOLFO LORENZO BAUTISTA, ING. JUAN MANUEL ROJAS GOMEZ, ING. JUAN M. TORRES H., ING. ALEJANDRO SOSA, ING. JOSE CASTILLO HERNÁNDEZ Y EN GENERAL A TODOS MIS PROFESORES CON QUIEN TOME CLASE Y A TODAS Y CADA UNA DE LAS PERSONAS QUE CONOCÍ EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y DURANTE EL DESARROLLO DE ESTE PROYECTO EN EL CCADET.

DISEÑO DE UN CONTROLADOR DIFUSO DE TEMPERATURA AMBIENTAL BASADO EN VENTILADOR

ÍNDICE TEMÁTICO

INTRODUCCIÓN.....	5
Resumen.....	5
Antecedentes.....	6
Motivación.....	9
Definición del problema.....	10
Entorno actual.....	10
Descripción del problema a resolver.....	12
Relevancia y limitaciones.....	12
Relación con otras áreas.....	12
Método.....	12
Objetivo y resultados esperados.....	14
Organización de la tesis.....	14
1. CONCEPTOS BÁSICOS.....	15
1.1. Introducción.....	15
1.2. Regulación de temperatura en el cuerpo humano.....	16
1.2.1. Ganancias de calor.....	16
1.2.2. Pérdida de calor.....	19
1.2.3. Condensación.....	25
1.2.4. Síntesis de la regulación de calor del cuerpo humano.....	25
1.3. Metabolismo interno del organismo.....	26
1.3.1. Pulmones.....	26
1.3.2. Piel.....	26
1.3.3. Glándulas sudoríparas.....	27
1.3.4. Secreción del sudor.....	28
1.3.5. Sudoración térmica.....	28
1.4. Sistema regulador de temperatura del organismo.....	30
1.4.1. Efecto del ejercicio.....	31
1.4.2. Efecto de un baño caliente o bajo estado de estrés.....	31
1.4.3. Efectos de la temperatura atmosférica elevada.....	31
1.4.4. Golpe de calor.....	33
1.4.5. Respuesta del organismo al frío.....	33
1.4.6. El vestido en los climas fríos.....	33
1.4.7. Aclimatación al frío.....	34
1.5. Exigencias del confort térmico.....	34
1.5.1. En verano.....	34
1.5.2. En invierno.....	34
1.6. La influencia del movimiento del aire.....	35

2. TÉCNICAS DE CONTROL.....	39
2.1. Acciones de control retroalimentado.....	39
2.2. Tipos de control retroalimentado.....	40
2.2.1. Control de dos posiciones.....	40
2.2.2. Control proporcional.....	40
2.2.3. Control integral.....	41
2.2.4. Control derivativo.....	42
2.2.5. Control Proporcional + Integral (P + I).....	42
2.2.6. Control Proporcional + Derivativo (P + D).....	43
2.2.7. Control Proporcional + Integral + Derivativo (P + I + D).....	43
2.3. Sistemas de control.....	44
2.3.1. Sistemas de control con aprendizaje.....	44
2.3.2. Método de GAIN SCHEDULING de Control de Aprendizaje.....	44
2.3.3. Control Adaptable Directo.....	45
2.3.4. Control Adaptable Indirecto.....	45
2.3.5. Control Adaptable por Modelo de Referencia.....	46
2.3.6. Control Adaptable por Asignación de Polos.....	47
2.3.7. Control Fuzzy (Control Difuso).....	47
3. TÉCNICA DE CONTROL DIFUSO EMPLEADO.....	49
3.1. La lógica difusa (La lógica fuzzy).....	49
3.2. Breve historia de la lógica difusa (fuzzy) aplicada.....	50
3.3. Conjuntos difusos.....	51
3.4. Notación algebraica.....	52
3.5. Máquina de inferencia difusa.....	52
3.6. Entrada real.....	53
3.7. Método para definir conjuntos difusos.....	53
3.8. Difusión.....	53
3.9. Proceso de evaluación y toma de decisiones.....	54
3.10. Desdifusión.....	55
4. MICROCONTROLADOR 68HC11.....	56
4.1. Registros de transferencia.....	57
4.2. Terminales de alimentación.....	58
4.3. Modos de operación.....	58
4.3.1. Modo single – chip.....	58
4.3.2. Modo expandido.....	58
4.3.3. Modo especial. (boot - strap).....	58
4.3.4. Modo prueba.....	58
4.4. Sistema de computador operando adecuadamente COP.....	59
4.5. Terminal de restablecimiento de sistema RESET.....	59
4.6. Puertos de entrada y salida.....	59

4.6.1. Puerto A.....	59
4.6.2. Puerto B y C.....	59
4.6.3. Puerto D STRA Y STRB.....	59
4.6.4. Puerto E.....	60
4.6.5. Puerto F.....	60
4.6.6. Puerto G.....	60
4.7. Modos de direccionamiento.....	60
4.8. Instrucciones.....	60
5. DISEÑO DEL CONTROLADOR.....	61
5.1. Introducción general.....	61
5.2. El método empleado.....	61
5.3. Aspectos a considerar.....	63
5.4. Diagrama general.....	65
5.5. Subsistema de control.....	66
5.5.1. Principio de operación.....	66
5.5.2. Sensores.....	70
5.5.3. Ajuste de calibración.....	70
5.5.4. Teclado.....	71
5.5.5. Display.....	72
5.5.6. Algoritmo de control.....	73
5.5.7. Implementación en lenguaje ensamblador IASM11.....	88
5.6. Subsistema impulsor.....	103
5.6.1. Principio de operación.....	103
5.6.2. Circuito de convertidor señal digital/analógica DAC.....	103
5.6.3. Circuito de disparo de triac's.....	103
5.6.4. Fuentes de Voltaje.....	105
5.6.5. Diagrama eléctrico y electrónico.....	106
5.6.6. Lista de material empleado.....	107
5.6.7. Justificación para elegir los circuitos electrónicos.....	109
6. RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....	110
6.1. Desempeño.....	110
6.2. Resultados.....	112
6.3. Discusión de resultados.....	113
6.4. Conclusiones.....	115
6.5. Aspectos para incrementar la eficiencia del dispositivo final.....	118
BIBLIOGRAFÍA.....	119
ANEXO.....	122
A.1. Control de temperatura.....	122
A.1.1. Aspectos de control.....	122

A.1.2. Calor y temperatura.....	122		
A.1.3. El aire acondicionado o aclimatador de temperatura.....	123		
A.2. Funcionamiento de la máquina de Carnot.....	124		
A.3. Los Ventiladores.....	126		
A.3.1. ¿Qué es un ventilador?.....	126		
A.3.2. Circulación del aire.....	127		
A.3.3. Teorema de Bernoulli.....	127		
A.3.4. Presiones.....	127		
A.3.5. Caudal.....	128		
A.3.6. Curva característica.....	128		
A.3.7. Tipo de curva característica.....	129		
A.4. Clasificación de los ventiladores atendiendo a su función.....	129		
A.4.1. Ventiladores con envolvente.....	129		
A.4.2. Ventiladores murales.....	130		
A.4.3. Ventiladores de chorro.....	130		
A.5. Clasificación de los ventiladores atendiendo a la trayectoria del aire.....	130		
A.5.1. Ventiladores centrífugos.....	130		
A.5.2. Ventiladores axiales.....	131		
A.5.3. Ventiladores transversales.....	131		
A.5.4. Ventiladores Hélico-centrífugos.....	131		
A.6. Clasificación de los ventiladores atendiendo a la presión.....	132		
A.6.1. Ventiladores de baja presión.....	132		
A.6.2. Ventiladores de mediana presión.....	132		
A.6.3. Ventiladores de alta presión.....	132		
A.7. Clasificación de los ventiladores atendiendo a las condiciones de funcionamiento.....	132		
A.7.1. Ventiladores estándar.....	132		
A.7.2. Ventiladores especiales.....	133		
A.8. Clasificación de los ventiladores atendiendo al sistema de accionamiento.....	133		
A.8.1. Accionamiento directo.....	133		
A.8.2. Accionamiento por transmisión.....	133		
A.9. Clasificación de los ventiladores atendiendo a las prestaciones del control.....	134		
A.10. Zona de funcionamiento.....	134		
A.11. Motores monofásicos.....	137		
A.12. Características de la tarjeta FACIL_11B.....	142		
A.13. Direcciones de letras para Display.....	143		
A.14. Set de Instrucciones para ensamblador IASM11.....	144		
A.15. Ventilador empleado.....	145		
A.16. Calefactor empleado.....	146		
A.17. Hojas de especificaciones de los circuitos empleados.....	148		
DAC0800.....	148	LM7805.....	222
2N6344A.....	159	LM7905.....	233
MAC15AC.....	165	2N2222.....	242
LM35.....	172	MOC3011.....	250
LM317.....	185		
LM337.....	211		
A.18. Fotografías del controlador diseñado.....			256

INTRODUCCIÓN.

RESUMEN.

En la presente tesis el objetivo consiste en diseñar un controlador de temperatura ambiental o termostato inteligente, empleando un “sistema de razonamiento” o máquina de inferencia con lógica difusa. El sistema realiza un proceso de aclimatación a partir de un ventilador y un calefactor que funcionarán para mantener cierta temperatura agradable al cuerpo humano (basado en principio en la comodidad humana). Este sistema se implementa sobre la base de un microcontrolador, empleando 2 sensores de temperatura que medirán la temperatura externa al cuarto/habitación y otro para medir la temperatura dentro de dicho cuarto/habitación, además de un circuito actuador. El sistema tiene la finalidad de regular o aclimatar la temperatura ambiental de un lugar donde se encuentre una micro-atmósfera como una casa habitación, oficina, etc. sin los inconvenientes de sobre ventilación, exceso de frío o de calor y también el evitar un bajo nivel de confort por falta de los factores descritos debido a variables en el clima. Ya que los actuales controles comerciales no mantienen dicha regulación de temperatura en un rango preciso de valores. El dispositivo final consiste en un controlador difuso para uso comercial/habitacional que controla por medio de un ventilador y de un calefactor, la temperatura ambiental de un lugar, basándose en el confort humano.

Para la correcta medición de temperatura se emplearon sensores que consisten en elementos de uso común que cuentan con un buen rango de temperatura y una buena tolerancia ante perturbaciones de ruido externo. El sistema de control difuso empleado es del tipo P + D (Proporcional + Derivativo), se analiza la entrada de temperatura actual dentro de la habitación y determina a partir de la diferencia entre esta y la lectura de la temperatura requerida o deseada por el usuario, el error y la derivada de error entre ambas temperaturas es decir la velocidad de cambio de dicho error para después aplicar un proceso difuso y obtener un valor de regulación a aplicar a un circuito actuador, regulando así la potencia que se suministrará al equipo ventilador/calefactor para aumentar o disminuir la velocidad o potencia de suministro del mismo y consecuentemente de la temperatura de un lugar.

ANTECEDENTES.

La existencia de los actuales sistemas de aire acondicionado y sistemas automáticos de aclimatación para ambientes pequeños y extensos centros públicos y comerciales ha manifestado un comportamiento en su desempeño hasta ahora todavía “burdo” y que no se adapta tan específicamente a los fines de regulación fina de temperatura y tampoco a un nivel óptimo de funcionamiento, dado que, los actuales sistemas de aire acondicionado y aclimatación manifiestan, un comportamiento de enfriamiento de temperatura ambiental que se alcanza durante un lapso de tiempo bastante considerable. El lapso de tiempo aumenta dependiendo del tamaño del lugar donde se realice la prueba y de las condiciones de temperatura del lugar fundamentalmente. Este tipo de dispositivos mantiene un ambiente frío durante cierto tiempo fuera del alcance de regulación óptima y cómoda al sentir humano, regulación que el aire acondicionado comúnmente mantiene mayor o menor al punto de regulación cómoda requerida por el ser humano debido a los procesos variados de pérdida de calor como lo son la convección, la evaporación y la radiación.

Para poder enfriar un ambiente, debe existir una considerable diferencia de temperaturas entre el ambiente donde se encuentre el aparato enfriador en sí a emplearse y la zona a “enfriar” por lo que dados los cambios radicales que existen en la temperatura ambiente de una atmósfera y la cantidad de factores que influyen en ella, la sensación de enfriamiento sentida por un ser humano no corresponde a la cantidad de enfriamiento que requiere el cuerpo humano, debido a que con los aparatos de aire acondicionado actuales no se logra alcanzar dicha cantidad de enfriamiento en un tiempo corto, ocasionando un mal enfriamiento por parte del organismo durante este lapso de tiempo, y se excede dicha temperatura requerida una vez alcanzada, manifestando en este último caso, afectaciones físicas al cuerpo humano expuesto a este tipo y clase de enfriamiento, tales como enfermedades del tipo respiratorio, reacciones físicas como son tos, escurrimiento nasal, irritación de la garganta, entre otros padecimientos de la misma índole y que pueden afectar al cuerpo humano desde una pequeña resequeidad en la garganta hasta padecimientos graves como lo es gripa severa, síntomas de resfriado o incluso bronquitis o pulmonía debido al gran enfriamiento del cuerpo humano y a un exceso de exposición a este tipo de dispositivos.

Es así como verificando la sensación física experimentada en el cuerpo humano propio, además de recabar una encuesta entre poco mas de 100 personas que se encuentran expuestas ante el mismo problema, surge la idea de realizar un trabajo de estudio para poder desarrollar un dispositivo que no manifestara las desventajas de un dispositivo de enfriamiento de aire acondicionado con lo que se presentaron los siguientes puntos de análisis:

- 1) Se observaron tres sistemas de aire acondicionado durante tres días a temperatura calurosa funcionando en tres ambientes diferentes a saber; una casa, una oficina y una tienda departamental con los siguientes resultados :
 - a) Al comenzar a funcionar el desempeño de cada sistema fue paulatino y no permitió sentir realmente la comodidad de aire frío hasta después de 10 minutos para la casa y la oficina, y de 60 minutos para la tienda departamental.
 - b) Fundamentalmente los sistemas de control de estos dispositivos se basan en “termostatos” que no regulan la temperatura ambiental finamente sino se basa en puntos de conexión y desconexión del dispositivo, es decir un tipo de control de dos posiciones.

- c) Los sistemas de control observados manifestaron no adaptarse a las condiciones cuando excedió el calor, dado que al incrementarse dicha temperatura exterior e interior cerca de las 13:00 hrs., en los tres ambientes
 - d) se observó que el dispositivo de aire acondicionado se disparó al máximo de su funcionamiento transcurriendo un tiempo de 15 minutos antes de percibir la disminución drástica del organismo y disminuyendo la temperatura del lugar. Mientras que cerca de la 18:00 hrs. de ese mismo día se sintió un ambiente bastante frío en comparación del exterior que había descendido cerca de 5 grados respecto de la temperatura exterior sentida cerca de las 13:00 hrs., fue en este momento 18:00 hrs. que se sintió un descenso grave de temperatura debido a un decremento de la temperatura exterior al cuarto de prueba, dentro de las tres atmósferas y fue requerido emplear la calefacción activada “a mano” y desconectar el aire acondicionado, esto último cerca de las 20:00 hrs., pero no siendo así para el caso de la tienda departamental, en donde la temperatura ambiental se dejó como tal desactivada por un termostato de funcionamiento sin activación de calefacción ni aire acondicionado.
 - e) La temperatura final cuando terminaron las pruebas realizadas se mantuvieron por debajo de la temperatura requerida lo anterior a causa de la falta de una regulación fina por parte del aire acondicionado.
- 2) Pensando en el porqué un ventilador sencillo para casa u oficina manifiesta un grado de sensación confortable para los usuarios con una respuesta más rápida e investigando como es la forma en que se incrementa dicho factor de sensación de confort cuando la corriente de aire de un ventilador de este tipo se dirige específicamente hacia un usuario se observó lo siguiente en un día caluroso:
- a) Un ventilador sencillo de capacidad estándar para casa u oficina manifiesta un grado de confort a partir de un control básicamente de cuatro posiciones observando tres velocidades diferentes del motor del ventilador para cada posición en ascenso.
 - b) Se observó que en un cuarto con ventanas abiertas con el clima bastante calurosos y húmedo, existía una ventilación eficaz cuando el dispositivo funcionaba a máxima potencia y se dirigía el ventilador directamente hacia el usuario.
 - c) En condiciones extremas de calor se observó además que la disminución de la temperatura cerca de las 18:00hrs. Se requería ajustar el ventilador a una menor velocidad con la característica de disminuir la convección que se desarrollo entre el aire exterior a menor temperatura que el interior y el aire interior aún caliente dentro de la casa.
 - d) En otra prueba se observó que la disminución de la velocidad del motor ajustaba una mejor comodidad conforme transcurría el tiempo de empleo del ventilador y las condiciones de ambiente del lugar sentidas por el cuerpo comenzaban a cambiar.
 - e) Se realizo una prueba en ambiente templado propio del D.F. en donde se requiere en ocasiones disminuir la sensación de calor y se observó que en posiciones de 1 o 2 velocidades manifestaba una mejor sensación de ventilación. En comparación con una prueba realizada en zona costera, en donde se requirió de la máxima potencia que pudiera entregar el ventilador.

- 3) Cabe hacer mención de la existencia de una tesis con el título: Control de Temperatura con Lógica Difusa, en la que se plantea la elaboración de un control difuso para un dispositivo de aire acondicionado, basado en la máquina de Carnot para enfriar el aire y que se basa en controlar el flujo de dicho aire por medio de la circulación del aire enfriado en mayor o menor grado alrededor de una habitación y en donde se puede observar en el párrafo cuarto de la sección de conclusiones lo siguiente: “pero cuando se requiere bajar la temperatura, el sistema lo puede hacer hasta llegar a la referencia establecida por la temperatura ambiente, de exigir menor temperatura a esta, (que es la verdadera utilidad de un dispositivo enfriador) deben considerarse otras alternativas que se mencionan mas adelante”. Con lo que concluyen que su dispositivo en cuestión no cumple con la función de aire acondicionado controlado. Con ello refieren al lector a la sección de mejoras en el proceso en cuya sección proponen lo siguiente: “Con el objetivo de agilizar el decremento en la temperatura (ya no refiriéndose a que no se puede disminuir la temperatura con su método empleado, sino considerando que su sistema si enfría pero de forma lenta proponen lo siguiente) considérese un sistema “serpentin” donde se hace fluir el refrigerante. Esto lleva a considerar dentro de la etapa de actuadores, sistemas de inyección y flujo que pasen por el ventilador” [tesis Controlador de temperatura con lógica difusa].

Aquí cabe hacer mención que en el sistema propuesto en esta tesis se emplearon una resistencia calefactora con un pequeño motor interno para circulación de aire caliente y un motor grande de un ventilador para circulación de aire alrededor de la habitación, y haciendo circular determinado aire frío que se encuentra alrededor del evaporador hacia el recinto, la idea teórica es lograr controlar disminuir la temperatura dentro del cuarto controladamente a partir de la circulación de dicho aire. Pero con las conclusiones de la tesis anteriormente descrita se comprueba que efectivamente un dispositivo de aire acondicionado por su misma naturaleza mantiene problemas de nivel de funcionamiento natural, técnico y mal empleo del dispositivo desde el inicio de la comercialización de este dispositivo para disminuir la temperatura ambiental a la que se encuentra expuesto el cuerpo humano y que aún haciéndolo factible empleando los mejores actuadores, debido a la naturaleza del funcionamiento del dispositivo entorpecería el control que se realice sobre el mismo, ya que un dispositivo de aire acondicionado enfría de forma abrupta y deja descartados los procesos físicos que suceden en el cuerpo humano debido a factores que se plantean en esta tesis y que son la parte principal por los cuales ocurre un mal funcionamiento entre un dispositivo enfriador de aire acondicionado y el cuerpo humano. No siendo así en el caso del funcionamiento de un frigorífico en donde se tiene un funcionamiento cada vez mejor en los sistemas actuales de refrigeración.

De los resultados anteriores se determinó en primer término:

1.- No desarrollar el controlador de temperatura para un aire acondicionado dado que involucra inconvenientes por la misma naturaleza de aire enfriado a partir de la máquina de calor que en lugar de estabilizar el sistema en general lo llevaría a desestabilizarse debido a la variables imprecisas en comportamiento de la temperatura ambiente (aire frío del exterior que entra al cuarto, abertura de puertas dejando pasar aire caliente, etc.) y dado que lo que se requiere enfriar no es cualquier cosa común como cualquier alimento orgánico que se requiere mantener en refrigeración a una determinada temperatura constante, sino el objetivo primordial es que el cuerpo humano se requiere mantener cómodo y sin sensación de acaloramiento.

2.- Desarrollar un controlador difuso para un ventilador ya que se requiere de un control que se adapte rápidamente a los cambios de temperatura ambiental y se ejecuten dichos cambios de una

forma rápida y precisa directamente por el circuito actuador y la planta que en este caso es el ventilador empleándose para aclimatar ante temperatura altas y un calefactor para temperaturas bajas, dichos sistemas si se pueden regular con una velocidad mas rápida y de forma precisa.

3.- Las ventajas de poder diseñar un auténtico control de temperatura ambiental se verificó para un ventilador y un calefactor por permitir debido a su naturaleza propia de funcionamiento, llevar a cabo el ejecutar la regulación precisa otorgada por el dispositivo controlador, atendiendo dicha regulación al manejo del coeficiente de convección aumentándolo o disminuyéndolo por medio de ventilación forzada para ambientes templados y poco calurosos y por manejo en aumento o disminución del coeficiente de evaporación para ambientes excesivamente calurosos y húmedos como los son las playas y ambientes de bosque o selva en donde resultaría excesivamente complicado y costoso disminuir la temperatura ambiental de una atmósfera respectiva con estas características. Además de que en el caso de que disminuya drásticamente la temperatura como lo es durante la época de invierno, ya que hay que recordar que el organismo humano tolera de menor forma las bajas temperaturas haciéndolo más susceptible a enfermedades y mantiene una mejor adaptación ante temperaturas extremas.

MOTIVACIÓN.

Uno de los motivos por lo que la utilización del aire acondicionado considero que no es recomendable en su utilización como aclimatador de ambientes, es porque por su misma naturaleza el aire frío que se logra obtener con este tipo de aparatos tiene un comportamiento no recomendable para el organismo dado su abrupta forma de generación de enfriamiento y distribución. En los casos de refrigeradores o almacenes en donde se requiere transportar cosas que se requieran que no entren en estado de descomposición, tales como alimentos a partir de aves, pescados, frutas, verduras, lácteos, etc., sí se justifica el empleo dado que se requiere no de una regulación fina sino de un tope de temperatura máximo permisible dentro de un contenedor de enfriador. Pero en el caso de regulación de temperatura en donde se requiere de una regulación fina y adecuación de las características del ambiente dado los cambios radicales de un organismo vivo (que es otra máquina de calor automatizada finamente y con un sistema propio de inteligencia natural como lo es aun hasta ahora la máxima "computadora" y sistema creado como lo es el cerebro) y que existen cambios radicales del medio ambiente natural, considero que conviene primero entender el funcionamiento propio de lo que se requiere regular "que tiene vida propia" y segundo encontrar la solución más óptima que se adapte mejor a dicho proceso del cuerpo humano. Y no tratar al cuerpo humano como si lo que se fuera a regular es alguna cosa o alimento como las descritas anteriormente y que se requiere que no entre en estado de descomposición. Es decir, realizar "un traje a la medida de las características propias del cuerpo humano y no aplicar el proceso reversible".

Una forma de desarrollo de un controlador para temperatura ambiental es basarse en el control de humedad en un cuarto dado que temperatura y humedad están muy ligadas una de la otra y que son directamente proporcionales ya que al cambio de incremento de una se incrementa la otra y la temperatura sentida realmente también se incrementa, se puede regular la temperatura ambiental regulando específicamente la humedad existente en un lugar para lo cual se requeriría de un análisis de determinación de humedad del 50% que requiere un ser humano para sentirse confortable y sin sensación de decremento o aumento de temperatura vigilando los rangos máximos y mínimos permisibles de 85% máximo de humedad relativa y de 25% de humedad mínima relativa. Tal como lo prueba la actual regulación de temperatura ambiental que se realiza atendiendo a la humedad por

medio del control por computadora central comandando difusores de humedad y aparatos de secado de humedad, en el hasta ahora actual edificio mas moderno de la Ciudad de México. Torre Mayor ubicada sobre avenida Reforma.

Como se explicó anteriormente desde un inicio planteando este pensamiento de mejorar el proceso en el que se emplea actualmente aire acondicionado y humedad, fue que surgió la idea propia de enfocarme en esta empresa para lograr un objetivo planteado recabando opiniones acerca de los dispositivos actuales y platicando con amigos, conocidos y varios ingenieros de la propia Facultad de Ingeniería.

Para el dispositivo en cuestión basado en ventilador y calefactor se utilizó para verificar su funcionamiento en varios lugares tanto excesivamente calurosos como lo son las playas, en lugares húmedos como lo son ciudades de Veracruz y Acapulco además del propio D.F. en donde se realizaron la mayor parte de las pruebas para lo cual se emplearon estudios realizados en el invierno del año 2002, primavera, verano, otoño e invierno del 2003, y Primavera Verano 2004 (que se comportó más como otoño – invierno). En donde se observó un comportamiento aceptable durante el tiempo de prueba, además de verificar varias fallas técnicas que se resolvieron implementando rutinas de software y ajustando la parte de hardware hasta lograr el funcionamiento óptimo para el que fue diseñado.

El sistema en particular puede ser implementado de forma óptima empleando cualquier tipo de ventilador comercial atendiendo a las características eléctricas de cada aparato conectando o desconectándolo de los contactos destinados para ello sin la necesidad de un ajuste extra para su funcionamiento manteniendo un nivel de versatilidad para poder transportar el dispositivo controlador de temperatura individualmente sin la necesidad de transportar también el ventilador y el calefactor e instalar otros dispositivos similares en otro lugar.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

Entorno actual.

El funcionamiento actual de ventiladores para empresas, casas habitación, hoteles y demás establecimientos donde se requiere disminuir la temperatura de un lugar se ha asociado a problemas respiratorios en el cuerpo humano. De igual forma existe también otro tipo de ventilación en el que se emplea aire acondicionado que se utiliza en áreas más extensas y cuyo funcionamiento se basa en ciclos de trabajo de la máquina de Carnot, siendo de igual forma generador de problemas de la misma índole, debido a factores que tienen que ver con el decremento excesivo de la temperatura ambiental a la que se somete el usuario de un dispositivo de este tipo y a las fluctuaciones del clima externo con relación a la zona ventilada.

El problema que se ha observado en el uso de estos equipos es que la regulación de la temperatura del aire donde se encuentra este dispositivo, existe únicamente cuando el operador elige manualmente la velocidad que requiere que tenga el aparato, de tal forma que si no existe una atención sistemática como puede ser el caso, donde las personas requieren dormir con el ventilador funcionando a causa de un elevado nivel de temperatura existente dentro del cuarto o lugar, pueden existir problemas para la salud. En esta situación y dado el continuo cambio de clima, el ventilador activado que se encuentra en determinada velocidad de funcionamiento provoca después de cierto tiempo que se sobre enfríe el cuarto donde se encuentra el usuario dormido. Es así como

frecuentemente el usuario al despertar siente que el aire enfriado tiene sobre-ventilación; esto ocasiona reacciones propias del cuerpo humano a causa de esta exposición excesiva al aire frío. Lo anterior ocasiona y es factor importante para la existencia de enfermedades y afectaciones de salud tales como las del tipo respiratorio, entre las que destacan: gripe, catarro, tos, alergias de índole de resfriado, estornudo frecuente, exceso de mucosidad nasal, escurrimiento nasal, asma, entre otras. La reacción propia del cuerpo humano que se genera como rechazo ante el cambio de temperatura y al aire que se encuentra excesivamente frío es la incomodidad de operación del dispositivo de ventilación dado que no es muy cómodo regular un ventilador. También se ha observado en las empresas pequeñas y microempresas donde se emplean este tipo de ventiladores que el personal que labora en ellas sufre continuos resfriados y enfermedades, ocasionando a las empresas problemas de bajas temporales de trabajadores que laboran en estos establecimientos o zonas de trabajo a causa de enfermedad. La misma problemática se presenta en lugares como establecimientos donde se emplean computadoras personales y en donde se requiere de ventiladores para evitar que se eleve la temperatura en las zonas de trabajo y se dañen el conjunto de las computadoras, pero en donde se perjudica en alguna forma a los usuarios de estas. Tal es el caso de lugares de renta de computadoras, oficinas gubernamentales, etc.

Otro caso en donde se observa este problema más comúnmente es en los estados del interior de la República Mexicana donde existen zonas extremadamente calurosas como son las playas y zonas comúnmente turísticas y en donde se requiere que la temperatura ambiente se mantenga agradable al cuerpo humano y no disminuya excesivamente evitando que exista una sobre ventilación.

Esta situación descrita se ha observado que existe actualmente en todos los lugares donde se emplea este tipo de ventilación y también en donde se emplea aire acondicionado para el mismo fin, restaurantes, bibliotecas, tiendas comerciales, papelerías, etc.

Los ventiladores comunes tienen un tipo de control manual para el cambio de velocidad del motor del ventilador que abarca desde 1 hasta 10 velocidades y que varía la cantidad de aire que se hace circular por el espacio donde se encuentra. La problemática de este tipo de control es que el usuario debe estar operando directamente el sistema y estar corrigiendo las velocidades del motor para obtener la temperatura deseada agradable a su ambiente climático. Esto no permite la comodidad en el uso del dispositivo y trae consigo problemas desde incomodidad laboral, problemas de enfermedad respiratoria para el usuario del ventilador, problemas que acarrearán estas enfermedades a las empresas, entre otras más. Lo anterior a causa de la operación no sistematizada que lleva a cabo el usuario por variables como son: el olvido de regular el ventilador por parte del usuario, la no presencia del usuario en el cuarto donde está activado el ventilador, que el usuario se encuentre descansando durante la noche y no regule el ventilador dado que el clima exterior e interior ya disminuyeron más de lo necesario y el usuario está dormido o no puede regularlo.

Otro tipo de control menos común que el anterior se basa en termostatos que a cierta temperatura desconectan el sistema. El problema que existe con este tipo de control es la cantidad de energía que emplean para su operación dado que la temperatura exterior del cuarto e interior del mismo cambia constantemente por condiciones diversas como son: los flujos naturales del aire, el cambio del sol debido a formación de nubes, la hora de utilización del aparato dado los cambios tan diversos en su utilización que existe en horario matutino y vespertino. En zonas donde hay mar o lagunas en donde las mareas o la existencia de grandes masas de agua cambian constantemente la temperatura de los alrededores. Todos estos factores además de otros más, no permiten que exista

una regulación tal que se adapte a estas condiciones dado que después de desconectarse por medio de los reguladores térmicos, el corte rápido de energía al llegar a la temperatura solicitada provoca nuevamente en el usuario un reajuste manual en donde la inercia provoca que se rebase la temperatura solicitada y no se permita eficientemente regular la temperatura del cuarto a una temperatura agradable al usuario sin perjudicarlo como anteriormente se describió. De modo que el problema no se resuelve plenamente.

Descripción del problema a resolver.

El problema a resolver consiste en diseñar un control de temperatura ambiental para acondicionamiento de aire a partir de un ventilador empleando lógica difusa para ajustar y mantener cierta temperatura agradable al cuerpo humano sin los inconvenientes mencionados anteriormente.

La ventilación, humedad y la temperatura van íntimamente unidas. A temperaturas altas la ventilación debe aliviar el calor corporal aumentando el coeficiente de evaporación del organismo. Debe existir un movimiento de aire suficiente para disminuir el calor del cuerpo y permitir que el trabajo común de una persona logre desarrollarse eficientemente sin la sensación de decaimiento del nivel de actividad del organismo.

Relevancia y limitaciones.

Se espera con la aceptación de este tema poder ordenar y especificar un método de control para un dispositivo no muy difundido actualmente en el mercado comercial y con ello poder solucionar el problema actual que existe en este tipo de aparatos mejorando la comodidad y servicio de los ventiladores comerciales.

La descripción del diseño de este dispositivo espero que beneficie en la investigación permanente y constante del avance académico ayudando con ello a mejorar en los procesos donde se pueda emplear este dispositivo y para los fines de investigación en donde se requiera de uso y aplicación requerida. Además de beneficiar a todas aquellas personas que hacemos uso de la ventilación forzada y aire acondicionado en donde se requiere que nos beneficie propiamente su uso sin que afecte en otra forma. Este dispositivo funcionará para los usuarios disminuyendo las causas de enfermedad del aparato respiratorio del cuerpo humano con ayuda de la tecnología actual.

Relación con otras áreas.

Existe una gran relación con las siguientes áreas: control automático, sistemas difusos, modelado de sistemas, microprocesadores, electrónica analógica y digital, motores y máquinas de c.a.

MÉTODO.

Dentro de algunos de los métodos y procedimientos para diseñar el control de temperatura ambiental se encuentran los siguientes:

° A partir de la temperatura interna de un cuarto que se desea aclimatar y la temperatura a que se desea llegar, obtener valores para aplicar un proceso P+D (Proporcional + Derivativo) a un proceso difuso obteniendo un voltaje proporcional a un ángulo de disparo de un TRIAC para controlar la potencia suministrada al ventilador. Las ventajas de este tipo de control son que se

adapta más rápidamente al cambio de las variables y permite un control uniforme acerca de la respuesta ante la relación de conjuntos difusos.

◦ El control automático y con elección de ajuste de inicio de intervención del usuario a partir de la temperatura que sienta agradable se compara con la temperatura interior del cuarto, bajo el mismo proceso aplicando control difuso.

◦ Se podría variar la velocidad de un motor controlado por un PLC. La modulación de frecuencia se emplearía para controlar el dispositivo, a partir de un motor de c.a. propio de un ventilador, variando la frecuencia del mismo por aspecto difuso y variando así la velocidad del motor del ventilador.

◦ El variar la velocidad de un motor por medio de un PLC en donde el control sea determinado para una modulación por ancho de pulso determinado por el control difuso, el inconveniente sería que la modulación por ancho de pulso no sería muy precisa en este caso dado que la variable del clima cambia constantemente y se tendría una regulación no muy precisa.

◦ El emplear el control tradicional podría aplicarse para resolver este problema aunque dadas las variables que se manejan como son la humedad, temperatura, presión o cualquier otra variable que influye en la temperatura del aire que se comporta como gas llevaría a un modelo matemático más complejo y que no representaría fielmente el comportamiento del medio ambiente en donde abarcaría más tiempo de procesamiento incrementando costos, espacio y se tendría más inconvenientes en el control en tiempo real.

Del análisis de los métodos o procedimientos se adoptará por elegir el primer método dado que se desea que el ventilador contenga el proceso automático en donde una vez instalado el dispositivo el usuario verifique la temperatura que siente agradable y elija por única vez la temperatura iniciando así el proceso de control. Se determinó por realizar el control difuso dadas las propiedades que tiene este tipo de control que mantiene el punto de temperatura a controlar lo más estable posible y lo más cercano posible al grado de temperatura requerido. Se adapta rápidamente a las fluctuaciones de cambio de temperatura esto debido a los conjuntos difusos que dados los espacios de pertenencia y los grados de verdad que contienen dichos conjuntos y las reglas de lógica difusa lo hacen conveniente para este tipo de control en donde las variables que intervienen en el sistema son muy variadas ya que el sistema se encuentra relacionado con el medio ambiente.

A partir de la temperatura interna en un cuarto que se desea aclimatar a gusto del cuerpo humano, se medirá con un sensor de temperatura y se escalará el voltaje de 0 a 5 V. Dicha temperatura se comparará con la temperatura que elija el usuario a través de un teclado. En el caso del teclado la codificación de la tecla presionada se realiza dentro del microprocesador. El microprocesador realiza una comparación entre la temperatura que se desea alcanzar y la temperatura actual, obteniéndose así valores de error entre temperatura actual y deseada, haciéndose también la diferencia entre lecturas calculadas del error. Con ello se obtiene datos acerca del decremento de dicha temperatura. Se construyen los conjuntos difusos para las variables error y derivada, convirtiéndose a lenguaje de microprocesador y agregándolo al programa difuso. Se aplica la difusión de valores a partir de los conjuntos de reglas de lógica difusas y se aplica el proceso de des-difusión para obtener un voltaje determinado digital que se convertirá en voltaje de señal analógica, valor que se aplicaría a un circuito de disparo SCR o TRIAC según convenga para controlar la potencia que se suministra al motor de un ventilador.

OBJETIVO Y RESULTADOS ESPERADOS.

Diseñar y construir un controlador difuso para temperatura ambiental sobre la base de un microcontrolador para un ventilador comercial con las siguientes especificaciones:

Rango de operación estándar 18 – 24 ° C.

Uso comercial / habitacional.

Reducción en los daños a la salud.

ORGANIZACIÓN DE LA TESIS.

La organización de la tesis comprende un índice temático. Se encuentra un resumen en donde se describe el objetivo del cual trata el presente trabajo de tesis. También se encuentra una introducción general en la cual se describen puntos de justificación para la elección del tema, los elementos fundamentales de motivación para haber escogido el presente tema, la definición del problema a resolver así como la discusión y justificación del diseño del controlador basado en ventilador.

Los capítulos llevan un orden de acuerdo a como se desarrollo el proyecto atendiendo fundamentalmente a las partes iniciales que se requieren conocer para comprender su desarrollo y aportación significativa.

En el capítulo 1 se abordan los conceptos básicos de regulación de temperatura del cuerpo humano, así como también un tipo de aportación de conocimiento del comportamiento general íntimo del cuerpo humano.

En el capítulo 2 se describen las técnicas de control a emplear en el dispositivo y se analizan las diferencias entre los controles básicos empleados.

En el capítulo 3 se plantea la técnica de control difuso empleado en el controlador y la explicación del funcionamiento del control difuso.

En el capítulo 4 se describen las partes y componentes básicas de un microcontrolador del tipo hc11 empleado como prototipo para este proyecto y sus características básicas de funcionamiento.

En el capítulo 5 se plantea el diseño del controlador atendiendo al algoritmo de funcionamiento general a partir de un diagrama de flujo, el diagrama del circuito eléctrico utilizado y los dispositivos periféricos empleados.

En el capítulo 6 se analizan los resultados y conclusiones finales a partir de la elaboración del controlador y análisis acerca del funcionamiento propio del dispositivo diseñado.

Se encuentra la bibliografía empleada para la elaboración del proyecto además de una sección de anexos donde se describen partes técnicas importantes para optimizar el funcionamiento del dispositivo además de documentación de utilidad para el lector de la tesis.

1. CONCEPTOS BÁSICOS.

1.1. INTRODUCCIÓN.

La ingeniería se presenta como el estudio del cúmulo de conocimientos capaces de poder resolver los problemas cotidianos de la vida sin perjudicar la interacción del ser humano con la naturaleza ni viceversa empleando el “ingenio” para la aplicación de dichos conocimientos.

La finalidad de todo proyecto de ingeniería es beneficiar las actividades cotidianas del ser humano y mejorar la calidad de vida en todo proceso que lo involucre directamente mejorando su bienestar y nivel de existencia.

En la actualidad el desarrollo del aire acondicionado ha permitido la utilización de muchas técnicas para lograr el objetivo final de comodidad humana. La experiencia que se ha obtenido durante este desarrollo permite una mayor eficiencia de los procesos de acondicionamiento de aire.

En el campo de la comodidad humana para el hombre prehistórico, la sombra, el agua fría y el viento eran quizá su único alivio contra el calor. Durante millones de años no hubo mejoras significativas en las condiciones de la especie humana. En el seco clima del Medio Oriente, la gente colgaba mantas mojadas frente a las puertas, consiguiendo así un modo primitivo de enfriamiento de aire circulante dentro de un cuarto.

En Europa central, Leonardo da Vinci diseñó un gran enfriador por evaporación. Sin embargo el desarrollo efectivo de la calefacción, ventilación y acondicionamiento de aire se inició, hace aproximadamente 100 años. Los sistemas de calefacción central se desarrollaron en el siglo XIX y el acondicionamiento de aire mediante refrigeración mecánica ha progresado solo durante los últimos 50 años.

El hombre es homeotermo, es decir, que mantiene constante la temperatura del cuerpo a pesar de que haya grandes variaciones de la temperatura de su medio ambiente, pero si se sobrepasa un límite de temperatura fijado pueden existir factores tales como golpe de calor para temperaturas extremas ó hipotermia para temperaturas mínimas a las que se puede someter el cuerpo humano.

Dentro de las actividades comunes de la vida actual, se ha observado que la capacidad de trabajo del hombre y su salud pueden ser disminuidas debido a una ventilación defectuosa o por exceso de aire caliente alrededor de él. La pureza de la atmósfera es solamente uno de los factores a considerar. La temperatura y el movimiento de aire son de igual o quizá de mayor importancia significativamente.

Primordialmente para la regulación de la temperatura agradable al cuerpo humano se emplean controles mecánicos. Por medio de botones o perillas que activan funciones o niveles de aclimatación variables ajustados por el usuario de estos controles. Los controles automáticos para un sistema de calefacción, ventilación y acondicionamiento de aire se pueden comparar, en importancia y función, con el cerebro y el sistema nervioso de un ser humano. Cada elemento que lo componen constituye una función particular en la toma de decisiones. Sin estos elementos, el organismo, independientemente de su salud física, sería una masa inerte.

El objetivo primordial de esta tesis es desarrollar un dispositivo que controle automáticamente el proceso de aclimatación agradable al cuerpo humano atendiendo a la temperatura ambiental que se encuentre en una atmósfera de tipo habitacional, oficina o trabajo en donde constantemente dicho dispositivo sea capaz de autorregularse por medio de las condiciones particulares de cada lugar, empleando para ello un sistema de regulación de temperatura basado en un ventilador y un calefactor.

Con lo anterior se pretende minimizar el costo de compra que acarrea un sistema de aire acondicionado, además de su costo de instalación y mantenimiento, minimizando las enfermedades respiratorias causadas por hongos y bacterias patógenas que se encuentran en los ductos de ventilación, además de poder emplearse este dispositivo para otros sistemas de aclimatación de temperatura existentes actualmente.

1.2. REGULACIÓN DE TEMPERATURA EN EL CUERPO HUMANO

El hombre es homeotermo, es decir, que mantiene constante la temperatura del cuerpo a pesar de que haya grandes variaciones de la temperatura de su medio ambiente. El término "temperatura corporal" se refiere a la temperatura de las estructuras profundas (por ejemplo, las vísceras). La piel suele tener una temperatura más baja que las partes profundas del cuerpo. Esto proporciona un gradiente de temperatura (diferencia entre temperaturas de mayor a menor) que produce una pérdida de calor desde las profundidades a la superficie del cuerpo y luego de la superficie al medio ambiente. En los climas tórridos, sin embargo, estos gradientes de temperatura pueden invertirse.

La temperatura normal en las partes profundas del cuerpo humano en reposo es de 36°C ó 37.5°C . En estado de salud esta temperatura se mantiene siempre muy próxima a estas cifras ya que las ganancias y las pérdidas de calor están en equilibrio.

1.2.1. Ganancias de calor.

Las ganancias de calor son debidas a:

1. Calor producido en el cuerpo humano.
2. Calor tomado, bajo determinadas circunstancias, del medio ambiente.

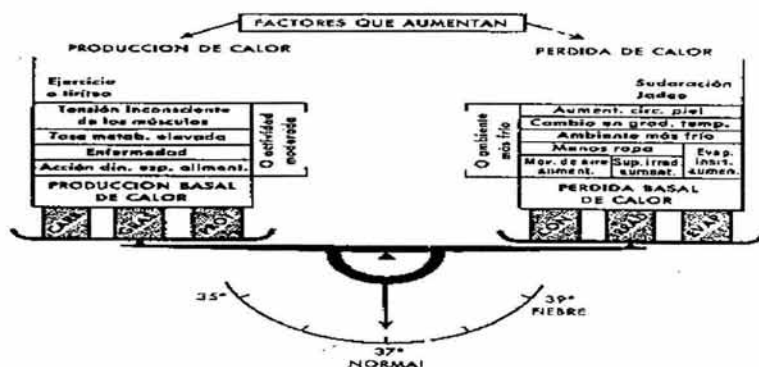


FIGURA 1. AUMENTO Y PÉRDIDA DE CALOR EN EL CUERPO HUMANO [LIBRO 3 BIBLIOGRAFÍA]

Calor producido en el cuerpo humano.

El cuerpo humano produce calor por medio de las actividades metabólicas del organismo. En algunos órganos como el hígado y el corazón, la producción de calor es relativamente constante. Por otra parte, el músculo esquelético contribuye de una manera variable a la producción de calor; durante el reposo produce muy poco calor y durante el ejercicio, muchísimo. Las contracciones musculares del tiritéo juegan un papel muy importante al prevenir la caída de temperatura del cuerpo en un ambiente frío. El alimento que se ingiere y el aire que se respira se combinan en el cuerpo para producir energía. Esa energía nos capacita para movernos, pensar, trabajar, etc. El rendimiento medio de transformación en el cuerpo humano de energía térmica consumida a trabajo realizado, se cifra alrededor de un 20 % a 25 %, debiendo el resto de energía ser disipada al ambiente, y es conocida como energía metabólica neta.

La cantidad de calor producido se incrementa con el ejercicio. Este calor debe salir del cuerpo o de lo contrario éste se calentaría demasiado. La temperatura interna del cuerpo humano de un adulto debe permanecer constante cerca de 37 °C (98.6 °F). Una pequeña elevación sobre la temperatura normal puede ser peligrosa. Una elevación de 5° C es generalmente fatal. El cuerpo humano debe disipar el calor tan pronto como lo produce. Esto se hace a través de un proceso fisiológico, el cual regula la pérdida de calor de la piel. En ambientes fríos, la pérdida de calor es bastante rápida, pero en un ambiente caluroso el cuerpo gana calor del ambiente. Debe entonces no solo desembarazarse no solamente del calor engendrado, sino también del calor adquirido. El movimiento del aire ayuda a acelerar la pérdida de calor de la piel.

La producción de calor bajo condiciones estándar de reposo (condiciones basales) es de 1 Kcal. por Kg. de peso del cuerpo y por hora, o sea, de 37 a 40 Kcal. (Según el sexo mujer u hombre respectivamente) por metro cuadrado y hora. Esta producción da unas 1700 Kcal. por día en un hombre normal de peso medio, y 1500 Kcal. en una mujer normal de peso medio. Una actividad física moderada aumenta la producción del calor a un total de 2500 a 3000 Kcal. por día; si se realiza un trabajo muy pesado la producción total de calor puede aumentar a 6000 Kcal. o aún más, por día. Breves períodos de un ejercicio intenso pueden aumentar la producción de calor temporalmente hasta 10 a 16 veces el nivel basal.

El calor específico del agua es de 1, o sea, que una pequeña caloría eleva la temperatura de 1g de agua en 1 °C. El calor específico de la solución salina isotónica y, por consiguiente, también del cuerpo (que está formado por un 80% de agua) también es, aproximadamente de 1. Por lo tanto si no hubiera ninguna pérdida de calor, la temperatura del cuerpo en condiciones basales aumentaría en 1 °C por hora, y en condiciones de actividad normal aumentaría en 2 °C por hora.

Pero son tan eficaces los mecanismos que provocan la pérdida de calor que es únicamente cuando el trabajo es muy pesado o cuando las condiciones ambientales interfieren con los mecanismos de la pérdida calórica que la temperatura del cuerpo aumenta muy por encima de sus valores considerados como normales. Los efectos de molestia se producen si las condiciones son tales que el cuerpo no puede eliminar el calor. Un esfuerzo prolongado en un ambiente caluroso sin ningún alivio puede provocar una congestión. El calor normal del verano, en climas templados, causa una reducción en el trabajo humano y una inapetencia hacia él. En los climas tropicales la necesidad de aliviar el efecto del calor mediante un movimiento de aire es proporcionalmente mayor, pues las temperaturas pueden estar cerca del límite en el cual el trabajo se puede efectuar eficientemente durante un periodo prolongado. Aunque el hombre se aclimata con bastante facilidad a toda clase de condiciones, su aptitud de trabajo es limitada por un calor excesivo.

Para poder normalizar la cantidad de energía neta que es generada por el metabolismo del cuerpo humano, se define el concepto de hombre adulto estándar, el cual se considera con un peso de 70 Kg. y una altura de 1.73m. El área superficial (m^2) que presenta cualquier cuerpo desnudo puede obtenerse mediante la siguiente regresión en función de su peso (Kg.) y altura (m):

$$A_{des} = 0.200 (\text{Peso})^{0.425} (\text{Altura})^{0.725}$$

Por lo que el hombre estándar presenta un área superficial:

$$A_{des} = 0.202 (70)^{0.425} (1.73)^{0.725} = 1.83 \text{ m}^2$$

La energía neta por unidad de tiempo producida por el metabolismo de un hombre estándar (M_N), depende de su grado de actividad, y viene recogida en la tabla de la figura 2.

Una aproximación muy acertada en cuanto a la energía metabólica que desarrolla el cuerpo humano es directamente proporcional a la cantidad de materia orgánica que posee, por tanto a su peso, y en consecuencia :

$$M_N = [\text{Peso} / \text{Peso hombre estándar}] * M_{N \text{ hombre estándar}}$$

$$M_N = [\text{Peso} / 70] * M_{N \text{ hombre estándar}}$$

ACTIVIDAD	ENERGÍA METABÓLICA NETA			
	(W=J/s)	(Met)	(Kcal. / Hora)	(Kcal. / día)
Acostado durmiendo	74	0.7	63.67	1528.08
Sentado reposo (Teatro, cine...)	115	1.0	98.98	2375.52
Sentado trabajo muy ligero (Oficina...)	139	1.2	119.59	2870.16
Sentado trabajo ligero (Trabajo montaje...)	185	1.6	159.17	3820.08
Trabajo muy ligero (Sin movimiento)	139	1.2	119.59	2870.16
De pie trabajo ligero (Marcha reducida)	235	2.04	202.19	4852.56
De pie trabajo moderado (Taller, tornero...)	255	2.22	219.40	5265.60
De pie trabajo pesado (Marcha intensa)	400	3.48	344.16	8259.84
Trabajo muy pesado (Ejercicios gimnasia)	470	4.09	404.39	9705.36
Esfuerzo máximo continuo (Atletismo)	85 – 900	5 hasta 8	73.13 – 774.37	1755 – 18584.88

FIGURA 2. ENERGÍA METABÓLICA NETA POR UNIDAD DE TIEMPO PRODUCIDA POR UN HOMBRE ESTÁNDAR EN FUNCIÓN DE SU ACTIVIDAD (1 Met. = 115 W, 1 cal=4.184J).

Calor tomado del medio ambiente.

El cuerpo puede absorber calor de los objetos mas calientes que él:

I) Por irradiación directa del sol o del suelo calentado ó II) irradiación reflejada por la atmósfera. Este tipo de absorción de calor por irradiación es independiente de la temperatura del aire. La cantidad de calor adquirida por irradiación puede reducirse llevando ropas que reflejen las radiaciones o aprovechando cualquier espacio sombreado. En el tórrido desierto el cuerpo absorbe más calor cuando esta desnudo que cuando esta cubierto por delgadas ropas blancas ya que físicamente un cuerpo oscuro absorbe mayor calor que un cuerpo blanco ya que este último refleja el calor.

Sin embargo, cuando la temperatura de la atmósfera excede a la temperatura de la piel, la superficie del cuerpo absorbe calor adicional de su ambiente inmediato; este último tipo de calor adquirido constituye un gran inconveniente para las personas que viven en climas cálidos.

1.2.2. Pérdida de calor.

La temperatura del cuerpo es regulada por tres procedimientos: irradiación, convección y evaporación.

Irradiación.

Al igual que toda materia, el cuerpo transmite calor por irradiación y recibe calor del mismo modo. Dentro de una habitación, con paredes o superficies frías, el cuerpo perderá por irradiación más calor del que recibirá. Así se explica que pueda ser desagradable sentarse cerca de una ventana en clima frío aun cuando la habitación se encuentra caliente. Cuando las superficies vecinas se hallen a igual temperatura que la piel, habrá aproximadamente igual radiación del cuerpo hacia los objetos que de los objetos hacia el cuerpo, es decir, la magnitud de la pérdida o ganancia calórica por irradiación depende de la magnitud de la superficie del cuerpo y de la diferencia media de temperatura entre la piel y los objetos alrededor de ella. Si las superficies adyacentes de un cuarto son mas calientes que la piel, la temperatura del cuerpo aumentará por irradiación. Por eso sentimos calor al estar frente al fuego aun en un día y lugar fríos. En un clima templado, una persona en reposo, que lleve solo las ropas corrientes, pierde aproximadamente un 60% de su producción calórica por irradiación. Es evidente que una persona que se encuentre realizando un trabajo reduce su porcentaje de pérdida de calor por irradiación debido a que requiere de otra forma de disipación calorífica más efectiva como lo es la evaporación.

Los cambios por radiación tienen lugar entre el cuerpo y las paredes y los objetos próximos. Son proporcionales a la diferencia entre la temperatura del cuerpo y la temperatura radiante y a un coeficiente de radiación. Si se presenta por θ_c la temperatura del cuerpo, θ_r la temperatura radiante y cr el coeficiente de radiación, la expresión de los cambios por radiación es:

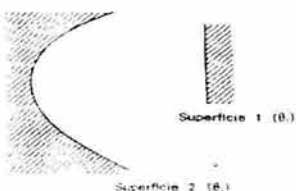
$$qr = (\theta_c - \theta_r) cr$$


FIGURA 3. RADIACIÓN [LIBRO 1 BIBLIOGRAFÍA]

Si todas las paredes del local tienen la misma temperatura, la temperatura radiante debería ser igual a esta temperatura. Pero en general no es así. Las paredes interiores tienen poco más o menos la misma temperatura que la del aire.

Las paredes interiores de un lugar, tienen en invierno, una temperatura más pequeña y en verano una temperatura más alta. La temperatura radiante es también igual a la media de las temperaturas de las paredes del local, cada una de las cuales estará afectada por un factor de forma que representa la importancia relativa con la que la pared es "vista" desde el cuerpo. El valor del coeficiente de radiación es, salvo casos excepcionales, un valor constante igual a 4 Kcal. / m² h °C.

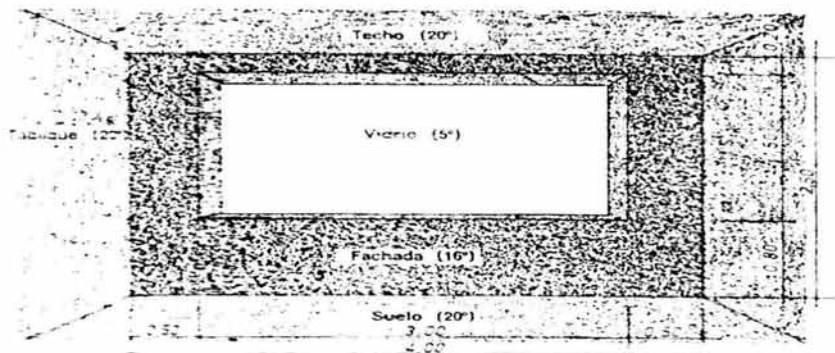


FIGURA 4. EJEMPLO DE IRRADIACIÓN EN UN CUARTO [LIBRO 1 BIBLIOGRAFÍA].

Convección.

Hay pérdida de calor por convección, cuando el aire es más frío que la piel. La velocidad con la cual el cuerpo pierde calor de este modo, se acelera mediante el movimiento de aire. En una atmósfera perfectamente tranquila y el cuerpo inactivo, el aire en contacto inmediato con el cuerpo será calentado a la misma temperatura de la piel. La transferencia de calor al aire disminuirá entonces. Pero cuando el aire caliente es arrastrado por las corrientes de aire, la convección se acelera. La temperatura de la piel y la del aire exterior a él disminuyen dependiendo de la velocidad de dicho aire. Esta es la razón por la cual una corriente de aire que proviene de un ventilador produce una sensación de frescor y de menor temperatura.

El aire en movimiento incrementa la pérdida de calor por convección, siempre y cuando la temperatura del aire no exceda a la de la piel. Si el aire es sensiblemente más caliente que la piel, el cuerpo gana calor del ambiente por convección.

Los cambios de temperatura por convección son proporcionales a la diferencia de temperatura entre el cuerpo y el aire, y a un coeficiente de convección que al mismo tiempo es función de la velocidad del aire. Si se representa por θ_c la temperatura del cuerpo, por t_a la temperatura del aire y por cc el coeficiente de convección, la expresión de los cambios por convección es la mostrada en la figura 5.



FIGURA 5. CONVECCIÓN. [LIBRO 1 BIBLIOGRAFÍA]

Las variaciones de cc , en función de la velocidad del aire, están dadas en la figura 6. Para el aire en calma, es decir en un local cerrado, cc es por término medio igual a 4 Kcal. / m² h °C.

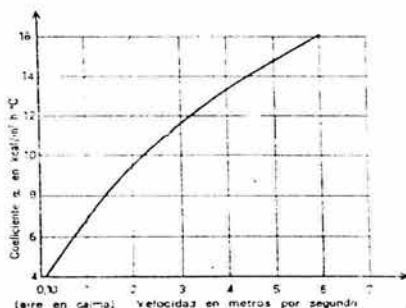


FIGURA 6. VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE CONVECCIÓN EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DEL AIRE PARA UNA PARED VERTICAL. [LIBRO 1 BIBLIOGRAFÍA]

Cuando la velocidad del aire aumenta, cc (coeficiente de convección) crece mientras que el cr (coeficiente de radiación) permanece constante. La temperatura de ambiente se aproxima pues a la temperatura del aire. Los cambios por convección aumentan, se producen enfriamientos más importantes del cuerpo, de donde finalmente se tiene una impresión de frío. Esta impresión no es traducida por la temperatura ambiente y se recurre entonces a otra temperatura ficticia, la temperatura resultante. Esta temperatura resultante es igual a la temperatura ambiente que, con aire en calma, daría la misma sensación de confort que la sentida realmente. La temperatura resultante será diferente según que el cuerpo esté desnudo o vestido y según que la actividad sea pequeña o grande. Es necesario, pues, cada vez que se hable de temperatura resultante, precisar el grado de vestido y el grado de actividad. Siempre con aire en calma la temperatura resultante es igual a la temperatura ambiente; entonces es independiente del vestido y de la actividad.

Esta temperatura también es llamada temperatura resultante seca porque es independiente de la humedad del aire.

Para el análisis de la influencia de la velocidad del aire es inútil conocer el valor absoluto de la temperatura resultante. Se traduce más simplemente la incidencia de una cierta velocidad de aire por una caída de temperatura resultante. El ábaco de la figura 7, proporciona la caída de temperatura resultante para el cuerpo desnudo y una actividad pequeña.

Esta caída de temperatura corresponde aproximadamente a las sensaciones percibidas sobre las partes desnudas del cuerpo: rostro, brazos, piernas, por una persona en su vivienda.

“La figura siguiente muestra que la influencia de las corrientes de aire es tanto mayor, a medida que la temperatura es más baja”. [LIBRO 1 BIBLIOGRAFÍA].

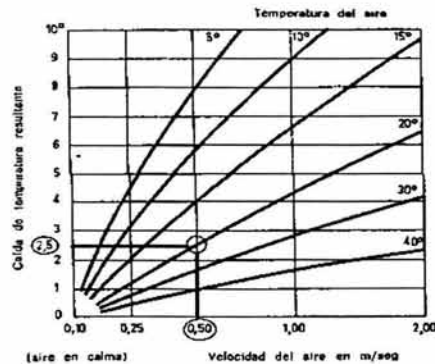


FIGURA 7. CAÍDA DE TEMPERATURA RESULTANTE EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DEL AIRE

Conducción.

Los cambios por conducción tienen lugar entre el cuerpo y los objetos en contacto con él. Pueden presentarse dos casos:

1. ° El contacto es permanente y las temperaturas del cuerpo y del objeto no varían en el tiempo. Este es el caso de los cambios a través de los vestidos, de los que la figura 8 da una representación esquemática.

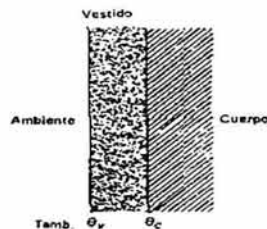


FIGURA 8. VESTIDO AMBIENTE CUERPO [LIBRO 1 BIBLIOGRAFÍA]

Sea θ_c la temperatura del cuerpo, que es igual a la de la superficie de los vestidos en contacto con él y θ_v la temperatura de la superficie exterior de los vestidos.

Los cambios por conducción a través de los vestidos son proporcionales a la diferencia de temperatura ($\theta_c - \theta_v$) e inversamente proporcionales a la resistencia térmica de los vestidos r . Su expresión es:

$$q = (\theta_c - \theta_v) / r$$

Donde r es por término medio del orden de $0.1 \text{ m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C} / \text{Kcal}$.

Todo lo anterior es suponiendo que el régimen es permanente, es decir, que las temperaturas no varían en el tiempo. No es así cuando el cuerpo humano se pone circunstancialmente en contacto con un objeto, por ejemplo el hecho de marchar descalzo sobre un suelo frío. La temperatura en

contacto, la de los pies y la del suelo, que inicialmente son temperaturas diferentes, tienden a igualarse, el pie se enfría y el suelo se calienta.

Evaporación.

Cuando las pérdidas por radiación y convección son insuficientes para regular la temperatura del cuerpo o cuando el ambiente externo al cuerpo está muy húmedo y se encuentra a una alta temperatura, las glándulas sudoríparas entran en acción. El cuerpo entonces pierde calor por la evaporación de la humedad de la piel. La transformación de la humedad en vapor de agua proviene del calor de la superficie en la cual la humedad se ha evaporado y se denomina "calor latente de evaporación". Este es el fenómeno de la transpiración. La cantidad de agua que se segrega puede llegar hasta 3 Kg. por hora e incluso más. El sudor que impregna la vestimenta no contribuye a la pérdida de calor del cuerpo. Es la evaporación del sudor de la epidermis la que elimina el calor del cuerpo. La velocidad de pérdida de calor es función de la rapidez de la evaporación, la cual depende a su vez de la capacidad que tiene el aire ambiente de eliminar la humedad.

En una atmósfera tranquila, la película de aire que toca a la piel y el aire impregnado en la vestimenta resultan casi saturados y no pueden absorber fácilmente más humedad. El sudor se evapora entonces más lentamente de lo que se forma y la piel se mantiene húmeda. El esfuerzo del cuerpo para eliminar el calor se retrasa, pero cuando las corrientes de aire eliminan el aire saturado en contacto con la piel, la pérdida de calor por evaporación se activa. Con un movimiento de aire suficiente el sudor se evaporará con tanta rapidez como sea formado, siempre y cuando la atmósfera no sea excesivamente húmeda donde requerirá mayor esfuerzo para evaporar el sudor y la rapidez no será de la misma manera.

En principio la suma de estos cambios por evaporación representan en general menos del 20 % de los cambios totales del cuerpo con el ambiente. Pero esta proporción se sobrepasa netamente si la transpiración resulta abundante debido a un incremento de temperatura corporal y por lo cual el ambiente externo es bastante caluroso, para que el metabolismo se obtenga únicamente gracias a la convección, conducción y a la radiación. En ese momento se invierten los porcentajes de disipación de calor hasta un 80 % por evaporación y 20 % por otros medios.

La velocidad de evaporación es función del grado higrométrico (contenido de humedad) del aire y de su velocidad.

En principio son función de la humedad del aire. Un aire húmedo, es decir, próximo a la saturación, tiene una pequeña cantidad de absorción de vapor de agua, por lo tanto perturba los cambios por evaporación. El cuerpo se enfría mal y hay impresión de calor. Por el contrario, a igualdad de temperatura, un aire más seco se percibe menos caliente.

A una temperatura dada el aire no puede contener nada más que una cantidad de vapor de agua inferior o igual a un máximo, denominado peso de vapor saturante.

Este peso es por ejemplo de 20 g de vapor por /Kg. de aire a 25 °C.

Cuando el peso del vapor es menor, el aire está húmedo pero no saturado. Se caracteriza este grado por el grado higrométrico, igual a la relación entre peso de vapor contenido en el aire y el peso de vapor saturante que es capaz de contener el aire, de tal modo que el aire varía su grado higrométrico entre 0% y 100%.

El peso de vapor saturante es tanto más elevado, a medida que la temperatura es más elevada, como muestra el diagrama de aire húmedo dado en la figura 9:

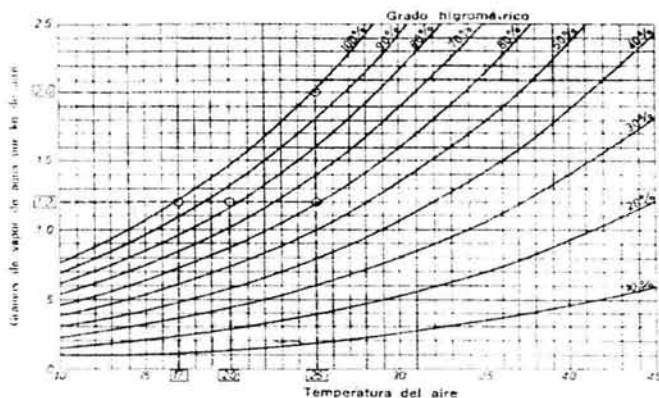


FIGURA 9. GRADO DE HUMEDAD EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA AMBIENTAL [LIBRO 1 BIBLIOGRAFÍA]

El poder desecante del aire y como consecuencia la velocidad de evaporación, son tanto más elevados cuando el aire es más caliente y más seco, este último adjetivo indica que el grado higrométrico es más pequeño

Un ambiente con 25 °C y 85% de humedad de grado higrométrico es equivalente a un ambiente con 31 °C y 20% de humedad. Se dice que estos dos ambientes tienen una misma temperatura efectiva. Aquí el proceso de la temperatura se incrementó mientras que la humedad disminuyó. Sobre el diagrama de aire húmedo dado en la figura 10, están trazadas las rectas de igual temperatura efectiva.

El valor absoluto de la temperatura efectiva de un ambiente dado es el de la temperatura verdadera de un ambiente ficticio equivalente, por lo tanto el grado higrométrico será igual al 100%. Los dos puntos equivalentes mencionados anteriormente están marcados sobre la siguiente figura.

La zona de confort debe, independientemente de la temperatura, estar limitada a humedades que no excedan del 85% aproximadamente y no desciendan por debajo de 25% aproximadamente. Una humedad muy alta dificulta la respiración. Una humedad muy pequeña irrita la garganta.

Los cambios por evaporación son además función del aire. Un aumento de ésta acelera la renovación del aire en contacto con el cuerpo, que se humidifica, ya que acelera la evaporación.

La velocidad del aire es una fuente de confort en clima caliente y húmedo y a menudo es la única fuente natural disponible.

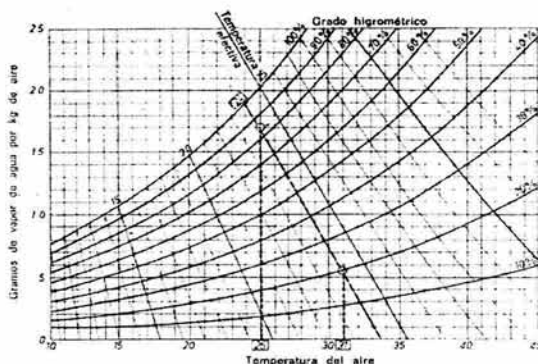


FIGURA 10. RECTAS DE TEMPERATURA EFECTIVA. [LIBRO 1 BIBLIOGRAFÍA]

Las rectas de igual temperatura efectiva son tanto más inclinadas, a medida que la temperatura es mas elevada, lo que significa que la influencia de la humedad del aire crece con la temperatura.

Se admite en general que la zona de confort tiene por límites superior la temperatura de 24°, o sea 27 – 28° de temperatura del aire para una humedad media del 50 %.

1.2.3. Condensación.

El examen de la figura del diagrama del grado de aire húmedo muestra que en una masa de aire a 25 °C y con un grado higrométrico del 60 %, si se produce una temperatura más baja sin modificación del peso de vapor, se mantiene mayor humedad, por lo que a una temperatura de 20 °C se tiene un grado higrométrico de 80% y a 17 °C se tiene un grado higrométrico de 100%, es decir aire saturado.

Para una temperatura más pequeña, el peso de vapor no podrá exceder al peso de vapor saturante, por lo que el vapor de agua se condensa. La temperatura de 17 °C se denomina punto de rocío correspondiente a la temperatura de 25 °C y grado higrométrico del 60%.

La condensación va acompañada de un desprendimiento de calor. La condensación de un litro de agua desprende alrededor de 600Kcal. Este factor se observa en lugares cerca de playas y zonas muy húmedas en donde al disminuir la temperatura existe condensación de la humedad del aire impregnada en las paredes.

1.2.4. Síntesis de la regulación de calor del cuerpo humano.

Se pierde calor del cuerpo por diferentes modos:

1. Por irradiación del cuerpo a objetos más fríos a distancia.

2. Por conducción y convección a la atmósfera que rodea al individuo si la temperatura de la atmósfera es inferior a la de la piel del individuo. El aire en contacto con la piel se calienta; las moléculas calentadas se apartan y otras más frías vienen a ocupar el lugar que las primeras han dejado; estas, a su vez, se calientan, y así sucesivamente. Estos movimientos del aire constituyen corrientes de convección.

3. Por evaporación de agua. El hecho esencial que hay que recordar es que cuando 1 g de agua se convierte en vapor de agua se necesita 0.58 cal, la cual debe de tomarse del medio ambiente; se conoce a este calor como calor latente de vaporización y se mide en calorías por gramo. Así cuando 1Kg de agua (aproximadamente 1 litro) se evapora, se absorben 580 calorías del ambiente inmediato. Se evapora agua de los pulmones y de la piel. La evaporación del sudor constituye el principal mecanismo de disipación calórica cuando la temperatura del cuerpo tiende a subir.

La velocidad de pérdida de calor en los dos últimos procesos está considerablemente influenciada por el movimiento del aire.

1.3. METABOLISMO INTERNO DEL ORGANISMO.

1.3.1. Pulmones.

El aire expirado que sale de los pulmones esta saturado con vapor de agua; esta agua deriva, por evaporación, de las mucosas húmedas de las vías respiratorias. La cantidad de vapor de agua que toma el aire depende del estado inicial del aire inspirado; cuando éste está seco toma una gran cantidad pero cuando esta saturado de vapor de agua no toma nada. Por término medio (en lo que pueda valer la cifra en cuestión, habida cuenta de la gran variabilidad de las condiciones atmosféricas) la pérdida de agua por los pulmones es de una 300cc por día, equivalente a pérdida calórica de unas 200 Kcal. (O sea, $300 * 0.58$ Kcal.).

Se pierde también algo de calor por los pulmones al elevarse la temperatura del aire aspirado a la temperatura del cuerpo; por tanto, cualquier aumento de la ventilación pulmonar (especialmente cuando el aire es seco y frío) aumenta la pérdida calórica.

1.3.2. Piel.

La pérdida de calor por la piel ocurre por:

1. Conducción – Convección hasta un grado que varía según el gradiente de temperatura existente entre la piel y la atmósfera ambiente. La temperatura de la piel varía directamente en proporción a la circulación sanguínea; el calibre de los vasos cutáneos, especialmente los de las manos, pies y cara, que se hallan bajo intenso control vasomotor, puede adaptarse adecuadamente a las variaciones de los requerimientos orgánicos. El frío exterior produce vasoconstricción cutánea y, en consecuencia, reduce la circulación sanguínea de la piel y hace que disminuya la pérdida calórica; el calor exterior tiene el efecto opuesto. El paso del calor desde las profundidades del cuerpo a la piel es debido principalmente a convección dentro del cuerpo, o sea, al transporte de calor desde las profundidades a la superficie por medio de la sangre caliente.

2. Evaporación de agua. Se pierde agua por medio de la piel:

- a) por la perspiración insensible
- b) por el sudor.

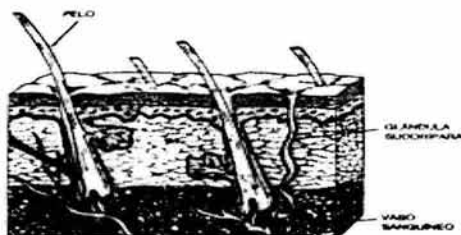


FIGURA 11. SECCIÓN DE PIEL HUMANA MOSTRANDO LOS VASOS SANGUÍNEOS Y LAS GLÁNDULAS SUDORÍPARAS. [LIBRO AIRE ACONDICIONADO EN EL AUTOMOVIL]

- a) *Perspiración sensible*. Consiste en el paso del agua por difusión a través de la epidermis (se llama “insensible” porque no se ve ni se siente); el líquido perdido de este modo no se forma en las glándulas sudoríparas. La perspiración insensible alcanza de 600 a 800 cc en 24 horas, lo que equivale a una pérdida calórica por evaporación de unas 400Kcal. La perspiración insensible se produce en toda la superficie del cuerpo, con una rapidez uniforme y es, en gran parte, independiente de las condiciones ambientales.
- b) *Sudoración*. a causa de su extraordinaria importancia para la regulación de la temperatura, este modo de perder calor (y agua) requiere una discusión detallada.

1.3.3. Glándulas sudoríparas.

Hay dos clases de glándulas sudoríparas en el hombre:

1. *Endocrinas*. Que están distribuidas generalmente por toda la superficie del cuerpo y secretan una solución diluida que contiene cloruro sódico, urea y ácido láctico. La concentración de ClNa es variable, o sea, que oscila del 0.1 al 0.37% y depende del grado de actividad cortico suprarrenal. Las glándulas ecrinas abundan principalmente en las palmas de las manos y plantas de los pies, siguen en cantidad las de la cabeza y se encuentran mucho menos en el tronco y las extremidades. Las glándulas ecrinas están inervadas por fibras colinérgicas que se hallan presentes en los nervios simpáticos. La atropina inhibe la sudoración endocrina. El metabolismo de una persona aumenta hasta un 7% antes de que aparezca ninguna indicación de que haya aumentado la actividad muscular; ello indica probablemente hasta que punto las glándulas endocrinas contribuyen a la “fina regulación” de la temperatura corporal.

2. *Aprocrinas*. Que se desarrollan en los folículos pilosos. Se encuentran principalmente en la axila (aunque también hay glándulas ecrinas), alrededor de los pezones y, en la mujer, en los labios mayores y el pubis.

En el caballo todas las glándulas sudoríparas son de tipo apocrínico, aunque en realidad se parecen mucho a las glándulas humanas ecrinas por su papel en la regulación de la temperatura.

Las glándulas apocrinas no están inervadas por nervios secretores sino que son estimuladas por la adrenalina de la sangre [Lovatt Evans 1957]. La atropina no inhibe esta secreción.

En la axila humana el sudor apocrino es un líquido lechoso e inodoro. El típico olor axilar se desarrolla a consecuencia de la actividad bacteriana.

1.3.4. Secreción del sudor.

La secreción del sudor es producida por el estímulo directo o reflejo de los centros de la médula espinal, del bulbo, del hipotálamo o de la corteza cerebral.

La secreción de sudor ecrino aumenta en las siguientes condiciones:

1. Con el aumento de la temperatura externa u orgánica; esta sudoración, llamada sudoración térmica se produce de dos maneras:

I) por un aumento de la temperatura del cuerpo que afecta directamente a los centros hipotalámicos; y

II) por vía refleja, a partir de las terminaciones nerviosas cutáneas sensibles al calor.

2. En los casos emocionales (sudoración mental); este tipo está limitado, por regla general, a las palmas de las manos, las plantas de los pies y las axilas, aunque en casos extremos puede generalizarse. La sudoración mental es debida a los impulsos procedentes de los centros superiores. Se emplea el término hiperhidrosis para describir la sudoración excesiva en las regiones que generalmente intervienen en la sudoración mental. La hiperhidrosis es debida a una hiperactividad de los centros que regulan la secreción sudoral y no tiene nada que ver con ninguna actividad anormal de las mismas glándulas. La hiperhidrosis es deprimida por la atropina o por los gangliopléjicos y naturalmente, queda abolida después de la simpatectomía.

3. Durante el ejercicio participan tanto los factores térmicos como los mentales.

4. También tiene lugar sudoración profusa en las náuseas y el vómito, en el desmayo, en la hipoglucemia y en la asfixia. Ello es debido a la actividad del simpático.

5. Se presenta sudoración gustativa en los climas tropicales cuando se ingieren especies picantes, como el curry o el ají. Las terminaciones nerviosas sensibles al dolor que hay en la boca son estimuladas y producen sudoración refleja en la cabeza y en el cuello.

1.3.5. Sudoración térmica.

La máxima cantidad de secreción térmica de sudor en una hora puede ser hasta de 1.7 litros; se pueden perder de 8 a 11 litros en un período de 5 a 8 horas, pero lo que se observa es que la secreción máxima durante 24 horas sea de 12 litros. Cada litro de sudor que se evapora de la piel produce la pérdida de 580 Kcal. del cuerpo. La evaporación de 1.7 litros (valor máximo para una hora) produce una pérdida de 1000 Kcal; la de 12 litros (valor máximo para un día) produce una pérdida de 7000 Kcal., la de 5.5 litros valor promedio en clima tórrido durante 14 días da una pérdida de 3000 Kcal.

Si el sudor no se evapora de la piel sino que es enjugado o únicamente resbala por el cuerpo, no se produce ninguna pérdida de calor. Sudar en tales condiciones representa una forma inútil o hasta perjudicial de pérdida de líquidos.

Al variar la cantidad de sudor secretado la cantidad de calor que el cuerpo puede perder podría también variar muchísimo. Cuando la temperatura externa excede a la del cuerpo, la evaporación (que en la práctica significa evaporación del sudor) es la única forma útil de pérdida calórica. La sudoración profusa implica una rápida pérdida de agua y sal por parte del organismo; entonces se presentan deshidratación y carencia de sal, con las consecuencias habituales de

somnolencia, agotamiento excesivo e incluso hasta desmayo y pérdida de conocimiento, a menos que se beban cantidades suficientes de agua y se tomen cantidades adecuadas de sal.

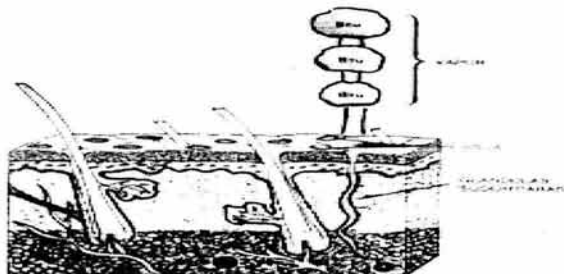


FIGURA 12. PÉRDIDA DE CALOR POR EVAPORACIÓN DE SUDOR EN LA PIEL.
[LIBRO AIRE ACONDICIONADO EN EL AUTOMOVIL.]

Cuando la atmósfera no es sólo más cálida que el cuerpo sino que también está saturada de vapor de agua, resultan abolidas las pérdidas calóricas por parte del organismo porque el sudor no puede evaporarse. Así pues, en una habitación seca, a la temperatura de 60 °C a 70 °C no se presenta ningún aumento de la temperatura del cuerpo, ya que, existen pérdidas de calor del organismo por evaporación, mientras que la permanencia durante 15 minutos en una habitación húmeda a una temperatura de 54 °C hace que la temperatura interna del cuerpo se eleve a 37.8 °C.

La regulación de la temperatura del cuerpo tiene prioridad sobre el mantenimiento del equilibrio hidrosalino; así pues, la sudoración proseguirá aunque se produzca una intensa deshidratación y pérdida de sales; sólo la detiene la insuficiencia circulatoria.

Variación diurna.

La figura 13, representa las fluctuaciones diurnas típicas de la temperatura del cuerpo en una persona normal durante tres días. Puede presentarse una variación diurna de 1.7 °C en cualquier persona normal.

La elevación de la temperatura normal durante el día es debida a la actividad muscular que va acompañada de producción de calor. Durante el sueño la temperatura descende, en parte a causa de la inactividad del cuerpo pero también a causa de una regulación menos perfecta de la temperatura. Cuando una persona sana permanece acostada el tipo normal de variación diurna de la temperatura se mantiene, pero el máximo que ocurre por la tarde no es tan elevado.

Una inversión de la rutina ordinaria cotidiana, es decir, al ir a trabajar en turno de noche, produce ulteriormente asimismo una inversión de la curva de temperatura. Esto no ocurre durante la primera noche, ya que a la hora de la mínima habitual (de 3 a 4 de la madrugada) se presenta un deseo imperioso de dormir. Al cabo de unos días sobreviene la aclimatación y desaparece la somnolencia.

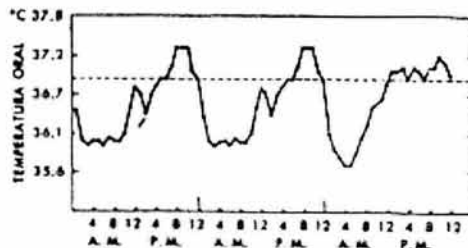


FIGURA 13. VARIACIÓN DIURNA DE LA TEMPERATURA CORPORAL ESTÁNDAR LOS TRES PRIMEROS DÍAS PARA UNA PERSONA QUE CAMBIA SU TRABAJO A LA NOCHE Y DUERME DURANTE EL DÍA. [LIBRO 3 BIBLIOGRAFÍA].

Edad.

La temperatura en los lactantes es, primeramente irregular, pero gradualmente se establece una periodicidad sincrónicamente con la aparición de períodos regulares de actividad y reposo. La regulación de la temperatura es imperfecta: un exceso de llanto puede causar un aumento de la temperatura, y un baño frío puede hacer descenderla en 4 °C. En los ancianos la temperatura es subnormal; el cuerpo es menos activo, la circulación está debilitada y hay menos capacidad de compensación de las variaciones de la temperatura externa. Los ancianos no toleran bien los extremos de la temperatura exterior.

1.4. SISTEMA REGULADOR DE TEMPERATURA DEL ORGANISMO.

La regulación de la temperatura es una función altamente coordinada que depende fundamentalmente de la actividad del sistema nervioso central, en la que intervienen dos mecanismos: el reflejo y el central.

1. La estimulación de las terminaciones nerviosas cutáneas sensibles a la temperatura provoca por vía refleja las apropiadas respuestas del organismo, por ejemplo, sudoración, alteraciones vaso motrices, jadeo o titiriteo.

2. La temperatura de la sangre que irriga al hipotálamo lo afecta directamente y, al mismo tiempo, provoca las reacciones apropiadas; así pues, el calentamiento de la región anterior del hipotálamo implica como resultado la aparición de las manifestaciones de pérdida calórica, o sea, vaso dilatación cutánea y sudoración. En un experimento, una lesión del hipotálamo anterior en un animal mamífero, no impide la reacción normal al frío exterior, pero anula el aumento normal de pérdida calórica que ocurre en ambientes cálidos. Una lesión del hipotálamo posterior causa asimismo la abolición a las respuestas al calor exterior, ya que quedan interrumpidas las fibras descendentes del hipotálamo anterior, pero además queda abolida la respuesta al frío.

Así pues, el hipotálamo anterior es el “centro” de las respuestas a la elevación de la temperatura, así como el hipotálamo posterior es el “centro” de las respuestas al descenso de la temperatura.

El hipotálamo, a causa de su estrecha relación con el tálamo, recibe todos los impulsos nerviosos aferentes apropiados; por el lado eferente tiene acceso tanto al sistema nerviosos somático como al automático y, por consiguiente, puede modificar la actividad muscular y glandular, la circulación cutánea, secreción del sudor y la ventilación pulmonar.

1.4.1. Efecto del ejercicio.

La actividad corporal aumenta mucho la producción de calor; solo el 25 % de la energía liberada por las reacciones químicas en el músculo se convierten en trabajo; el resto se transforma en calor. El efecto sobre la temperatura del cuerpo depende del grado en que puedan aumentarse las pérdidas calóricas para neutralizar la producción de calor; ello, a su vez, depende en gran parte de las condiciones ambientales. Después de haber realizado una carrera de 5 Km. se han registrado en los atletas que la realizaron temperatura interna del cuerpo que alcanzaron de 39.4 °C a 40.5 °C.

Cuando se produce más calor como resultado de un esfuerzo físico, hay aumento compensador de la pérdida calórica.

I) La circulación sanguínea en la piel aumenta mucho y ello produce a su vez un aumento de la temperatura cutánea, y, por consiguiente, un mayor gradiente de temperatura entre la superficie del cuerpo y el medio ambiente. La pérdida de calor por irradiación solo aumenta en 15 Kcal. por hora por cada grado de aumento de la temperatura de la piel.

La pérdida calórica total por conducción convección e irradiación aunque mayor que en reposo constituye en tal caso sólo un 20 a 30 % de disipación térmica de esta forma (por ejemplo, con un aumento de 75 a 150 Kcal. por hora que deben disiparse del organismo), en lugar del 80% de la pérdida calórica total del organismo que se tendría si se mantuviera en 75 Kcal. por hora.

II) La principal pérdida calórica en el ejercicio se debe a un aumento de la secreción y evaporación del sudor. La secreción sudoral durante el ejercicio es en parte “térmica” y en parte “mental” en su origen; declina lentamente una vez terminado el ejercicio.

1.4.2. Efecto de un baño caliente o bajo estado de estrés.

Un sujeto se introduce en un baño caliente y permanece ahí durante un período de 5 a 6 minutos; se hacen las observaciones pertinentes mientras el sujeto está dentro del baño y una vez que ha salido de éste, hasta alcanzar de nuevo los valores testigos. En un baño a 43 °C la temperatura bucal puede aumentar de 36.5 °C a más de 38 °C; la frecuencia cardíaca puede aumentar de 75 a 115 pulsaciones por minuto y la frecuencia de respiración de 12 a 28 por minuto. La temperatura bucal puede tardar 30 minutos para volver a la normalidad, aunque la frecuencia respiratoria y la cardíaca se normalizan más rápidamente.

Este experimento demuestra claramente las limitaciones de la regulación de la temperatura normal y como puede ésta regulación estropearse rápidamente bajo estado de estrés. Ya que de estar tranquilo a cambiar a un estado de estrés aumentan los factores descritos anteriormente y cambia el metabolismo del organismo aumentando la temperatura corporal. La temperatura del cuerpo se eleva debido al calor liberado por el metabolismo así como por el calor absorbido del medio ambiente.

1.4.3. Efectos de la temperatura atmosférica elevada.

Las principales reacciones compensadoras automáticas consisten (igual que durante el ejercicio) en vaso dilatación cutánea y sudoración; se inhiben las secreciones de adrenalina y tiroxina; en cambio, la secreción de corticosteroides aumenta. Si la temperatura exterior es superior a la corporal, el aumento de la circulación sanguínea en la piel provoca un aumento de la pérdida calórica por conducción, convección e irradiación. Si la temperatura exterior excede en mucho de la temperatura del cuerpo, las pérdidas calóricas sólo pueden resultar de la evaporación del sudor. Algunas de estas modificaciones se exponen a continuación.

I) *Sudoración*. Cuando la temperatura de la habitación aumenta lentamente un alto grado, por ejemplo, 26°C a 41°C hay un largo período de latencia antes de que se inicie la sudoración (por ejemplo, 30 minutos). La sudoración suele iniciarse súbitamente y es debida a un aumento de la temperatura interna y coincide con este aumento de la temperatura de la piel, del orden de 1.0°C a 1.5°C (que actúa por vía refleja). La sudoración aumenta progresivamente en intensidad y puede continuar aumentando aun cuando vaya disminuyendo la temperatura de la habitación; ulteriormente la temperatura cutánea puede descender debido a la pérdida de calor producida por la evaporación del sudor. Cuando el tiempo es caluroso se puede producir la sudoración inmediatamente después de la exposición del cuerpo a un mayor calor externo.

La importancia de la sudoración como respuesta al calor queda bien ilustrada por el cuadro sintomático de la figura 14, en el cual se presenta un paciente con *ausencia congénita de glándulas sudoríparas*. Durante el invierno su regulación de la temperatura es normal; sin embargo durante el verano la regulación de la temperatura se trastorna por completo. Así durante julio y agosto su temperatura matutina era de 36.1°C, mientras que su temperatura vespertina había subido a 39.2°C; la frecuencia del pulso y la respiración seguían paralelamente las evoluciones de la temperatura del ambiente externo. El paciente, junto con un individuo normal, fueron colocados, desnudos, en una habitación caliente y húmeda durante 30 minutos, con los resultados siguientes:

	Temperatura cutánea	Temperatura bucal	Pérdida de peso Piel y pulmones	Volumen de orina
Atmósfera normal:				
Paciente	33.9°	36.9°	—	—
Testigo	32.7°	36.9°	—	—
Atmósfera caliente y húmeda:				
Paciente	40.9°	38.6°	22 g	270 cc
Testigo	37.6°	37.0°	262 g	10 cc

FIGURA 14. PACIENTE Y TESTIGO

La piel del paciente permaneció seca y aterciopelada; se sintió mareado y enfermo y “jadeaba como un perro”; se presentó una gran diuresis, así como hipertermia (le temperatura bucal se elevó a 38.6°C). El testigo, en cambio, sudó profusamente, emitió muy poca orina y mantuvo normal la temperatura del cuerpo.

II) *Modificaciones de la sangre y de la circulación.*

Hay un aumento del gasto cardíaco pero una disminución de la presión diastólica, ya que la resistencia periférica está reducida por el vaso dilatación cutánea. Inicialmente hay un aumento del volumen plasmático. El efecto sobre la presión sistólica es variable y depende del grado en que el aumento del gasto cardíaco compensa la disminución de la resistencia periférica. La frecuencia del pulso siempre aumenta aunque no hay un aumento sensible de la temperatura.

III) *Calambres de calor*. Si no se neutralizan las pérdidas de Na⁺ y de Cl⁻ se presentan calambres musculares.

IV) Se presenta hiperpnea, disminuye el CO₂ alveolar y, en consecuencia, se presenta alcalemia, la cual queda compensada por la emisión de orina alcalina y la disminución de la formación renal de NH₃.

V) *Agotamiento por el calor*. Es debido a la hipertermia, a las pérdidas salinas y a la deshidratación.

VI) *Aclimatación*. La exposición prolongada al calor exterior conduce al “agotamiento” de las glándulas sudoríparas; el volumen del sudor secretado disminuye bruscamente y aumenta al mismo tiempo su contenido en Na^+ y en Cl^- , o sea, que la concentración de estos iones se parece más a la de un filtrado de plasma. Por otra parte, después de repetidos accesos de exposición al calor exterior, sobrevienen adaptaciones muy útiles: a) La sudoración se inicia a un nivel más bajo de la temperatura del cuerpo; b) El contenido en Na^+ y en Cl^- del sudor disminuye, lo que da como resultado una mejor conservación del contenido electrolítico (y p.o. de los cristaloides) de los líquidos extracelulares provocando la reabsorción de Na^+ y de Cl^- del sudor hacia la sangre.

1.4.4. Golpe de calor.

Este síndrome se desarrolla en personas que trabajan o hacen actividad física intensamente, no van vestidas apropiadamente y el ambiente es cálido. Los síntomas son debidos a la hipertermia de sales y a la deshidratación, en proporciones variables. Como la temperatura externa es elevada, no se puede perder calor por irradiación ni por convección. Si además el aire está húmedo y tranquilo, tampoco puede producirse la evaporación. Cuando falla el mecanismo termorregulador, la temperatura del cuerpo empieza a elevarse y así se establece un círculo vicioso de modo que al elevarse ésta aumenta el metabolismo, el cual, a su vez aumenta la producción de calor y finalmente se presenta insuficiencia circulatoria por las razones expuestas anteriormente. Es muy importante la idiosincrasia individual; Hay personas que no sudan fácilmente y tienen la piel cálida y ardiente, pero completamente seca, lo que complica la autorregulación del cuerpo ya que como anteriormente se explicó si la temperatura externa es mayor a la temperatura corporal el factor primordial de pérdida de calor es por medio de la evaporación del sudor. Pueden aparecer lesiones graves y hasta permanentes en el sistema nervioso central debido a este factor.

1.4.5. Respuesta del organismo al frío.

La temperatura ambiente esta generalmente por debajo de la temperatura de las estructuras profundas del cuerpo humano. Por eso tiene que haber una producción activa de calor para mantener normal y a un nivel constante la temperatura profunda del cuerpo. Si la temperatura ambiente desciende mucho el organismo puede contribuir a mantener constante su temperatura interna aumentando la producción de calor o reduciendo las pérdidas calóricas.

1. Se aumenta la producción de calor aumentando el metabolismo. La secreción de adrenalina y de hormonas tiroideas producen un aumento relativamente pequeño del metabolismo. El tiritéo libera grandes cantidades de calor en los músculos.

2. Las pérdidas de calor se reducen por medio de la vasoconstricción cutánea. Ello reduce la cantidad de calor transferido por la sangre desde las profundidades del cuerpo a la superficie. La vasoconstricción cutánea puede hacer que se eleve la presión sanguínea.

1.4.6. El vestido en los climas fríos.

La finalidad del vestido como protección contra el frío es la de proporcionar una capa de aislamiento térmico para reducir la cantidad de calor perdido hacia el ambiente por la superficie del cuerpo. En realidad lo que proporciona el aislamiento es el aire “muerto” atrapado entre las ropas y el cuerpo. A este respecto las pieles de animales son excelentes, no sólo para sus propietarios originales, sino para las personas también. Esto lo saben desde tiempo inmemorial los esquimales,

los cuales van ataviados con dos capas de pieles, una con el pelo hacia fuera y la otra con el pelo hacia adentro.

1.4.7. Aclimatación al frío.

Un frío excesivo puede trastornar los procesos reguladores del calor con que cuenta el organismo, de modo que entonces la temperatura profunda del organismo disminuye. Esto es lo que ocurre a los alpinistas y a los exploradores polares, los cuales sufren “agotamiento por frío”. Se quedan dormidos y cuando la temperatura profunda del cuerpo desciende a unos 25 °C, se inhibe la respiración y se presenta una marcada bradicardia, fatal en tales condiciones. La temperatura interna del cuerpo mortal para el organismo es de 20°C.

Una exposición prolongada al frío produce mucha menos adaptación fisiológica que una exposición prolongada al calor. En realidad, el reajuste al frío que efectúan ciertas gentes como los esquimales, los lapones y los exploradores polares consiste principalmente en evitarlo. Los esquimales viven en un microclima que puede clasificarse como subtropical, ya que la temperatura en el interior de un *igloo* se mantiene entre 27°C y 32°C.

1.5. EXIGENCIAS DEL CONFORT TÉRMICO. [LIBRO 2 BIBLIOGRAFÍA].

1.5.1. En verano.

En verano es fácil distinguir dos tipos de climas según que la humedad del aire presente o no un problema.

En climas donde no se originan problemas con la humedad se trata de climas templados y de climas calientes y secos, cuando no existe climatización con aire humidificado.

La exigencia principal es la temperatura ambiente.

La temperatura ambiente media en el centro de las habitaciones no debe exceder de 27°C a 28°C y en el mejor de los casos 23°C a 25°C

En climas en donde la humedad origina problemas, se trata de climas calientes y húmedos u otros climas cuando se los climatiza humidificando el aire, tales como playas, bosques o selvas.

El confort esta obtenido dando al aire cierta velocidad, único medio de aumentar los cambios por evaporación. Resulta que la temperatura del aire es muy dominante ante la de las paredes de un cuarto o habitación.

1.5.2. En invierno.

En invierno, es decir, durante el período del año en que la calefacción se hace necesaria, se ven ventanas cerradas. El aire está en calma y no hay motivo para tener en cuenta el factor velocidad del aire, salvo localmente en las proximidades de las entradas de aire de ventilación, puertas internas, etc.

Igualmente la temperatura del aire será poco elevada, no hay motivo para tener en cuenta el factor humedad del aire, sino la condensación del agua del aire, sin embargo no debe permitirse que la humedad disminuya del 25% ya que esto irrita a las vías respiratorias.

La temperatura radiante está siempre próxima a la del aire, no se diferencia más que en dos grados centígrados. El rango de valores de temperatura para numerosas personas en donde se encuentra la comodidad oscila entre 20°C y 22°C. No existe riesgo de incomfort térmico si se encuentra una humedad grande.

1.6. LA INFLUENCIA DEL MOVIMIENTO DEL AIRE.

La influencia del movimiento de aire ha sido demostrada por investigadores. En una serie de pruebas el límite de pérdida de calor por transpiración de un sujeto desnudo se alcanzó los 32°C en aire tranquilo manteniéndose la temperatura corporal sin cambio. A temperaturas más elevadas en aire tranquilo, la temperatura interna del cuerpo empieza a crecer. Pero cuando se produce un movimiento de aire de solamente 0.5m/s, el límite de pérdida de calor por transpiración se eleva a 35°C de temperatura exterior.

En una atmósfera tranquila y en reposo, una persona en reposo mantiene su temperatura corporal externa normal a 29°C. Con una temperatura ambiental de 32°C el aumento de temperatura corporal fue de 0.6°C a 0.8°C por hora, Con 34°C de temperatura ambiental el aumento de temperatura corporal fue de 1°C por hora; Con 37°C fue de 2°C por hora. Con una corriente de aire a una velocidad de 50 metros por minuto se podía soportar una temperatura de 33°C sin que aumentase la temperatura corporal, es decir, se pudo lograr una disminución de temperatura aparente de 4° grados centígrados sentidos por el cuerpo.

La influencia del movimiento de aire sobre el bienestar del cuerpo humano puede resumirse como sigue:

1. ° Acelera la pérdida de calor por convección.
2. ° Ayuda al cuerpo a disipar el calor obtenido por radiación u otros medios.
3. ° Ayuda al cuerpo a la pérdida de calor por evaporación de sudor, haciendo las altas temperaturas más tolerables.

El movimiento de aire es necesario no solamente para incrementar el coeficiente de convección, sino ayuda a eliminar el calor por evaporación y también para reducir la velocidad de la transpiración. Sudar con exceso debilita el cuerpo humano, principalmente por la pérdida de sales. Aún en temperaturas moderadas debería existir un adecuado movimiento de aire para acelerar las pérdidas de calor por convección y así reducir la transpiración.

Si el movimiento de aire es uniforme en una habitación y la temperatura constante, no hay variación en la atmósfera para estimular las reacciones físicas. Corrientes de aire variables causan cambios momentáneos en la temperatura de la piel, dando sensación de frescor.

La sensación de calor experimentada por una persona está influenciada por el movimiento del aire. El movimiento del aire sobre la piel baja la temperatura del cuerpo y la de la habitación por convección de aire caliente hacia el exterior y aire frío que entra al lugar. Está reconocido que las pérdidas de calor en las partes descubiertas del cuerpo aproximadamente se dobla debido a un incremento de la velocidad del aire que pasa de 0.075m/s a 0.3m/s y triplica por un incremento de 0.075 a 0.75m/s. Aunque la temperatura sea alta, el movimiento de aire puede provocar un considerable alivio del calor y afecta directamente en la capacidad e inclinación al trabajo.

Existen constantemente corrientes en forma de torbellino que son siempre creadas por los movimientos de los ocupantes y el abrir de las puertas. No existe aire tranquilo en un lugar ocupado.

El término aire tranquilo implica un movimiento de aire de menos de 0.075m/s. Sin embargo, habitaciones a 18°C al triple de esta velocidad es raramente perceptible por personas normalmente vestidas; a 21°C de temperatura y velocidad de 0.3m/s, será escasamente notado. Es de remarcar que yendo solamente a la velocidad de 1Km/hora produce sobre el cuerpo un desplazamiento de aire de 0.3m/s.

Se admite que para temperaturas de locales comprendidas entre 21°C y 24°C un desplazamiento de aire a la velocidad de 0.5m/s a 1m/s otorga una importante sensación refrescante a las personas sentadas y de mediana actividad. Pero cuando se efectúa un trabajo muscular en lugares calurosos la velocidad del aire requerida es de 1.25m/s a 2.5m/s para aliviar el calor. Más altas velocidades son producidas en algunos casos cuando los hombres están expuestos en cortos períodos a intensas radiaciones de calor. El movimiento de aire es obtenido con la ayuda de ventiladores de circulación.

La cantidad de movimiento de aire requerida, para un efecto refrescante, puede ser calculada por experiencia personal de las velocidades exteriores del aire. La sensación de frescor producida por una ligera brisa soplando por una ventana en un día caluroso es conocida por todos. La velocidad generalmente designada por "brisa ligera" es del orden de 2.5m/s. La escala Beaufort de los vientos de la figura 15, muestra las velocidades de los mismos en Km. /hora y m/s.

FUERZA DEL VIENTO SEGUN LA ESCALA DE BEAUFORT N.º		VELOCIDAD MEDIA	
		(m/s)	(km/h)
0	Calma	0	0.46
1	Aire ligero	1.5	5.4
2	Brisa ligera	3	10.8
3	Brisa suave	5	18
4	Brisa moderada	7	25
5	Brisa fresca	9	32.4
6	Brisa fuerte	11	39.6
7	Viento moderado	13	47
8	Viento fresco	15	54
9	Viento fuerte	17	61.2
10	Gran viento	21	75.6
11	Tempestad	24	86.4
12	Huracán	32.5	117

* 0.075

FIGURA 15. ESCALA DE VIENTOS

El efecto refrescante del aire en movimiento puede ser expresado en función de la disminución de la temperatura del aire, el cual daría el mismo efecto refrescante en aire tranquilo. El efecto exacto depende de la humedad, de la temperatura, de los vestidos usados, etc., pero la tabla de la figura 16, puede tomarse como una guía. Las condiciones varían desde un traje normal a humedad interior normal del orden del 50% y temperatura del orden de los 20°C con aire inicialmente a baja velocidad, a hombres trabajando con el torso desnudo a alta temperatura y aire seco a gran velocidad.

VELOCIDAD DEL VIENTO [m/s]	ENFRIAMIENTO [°C]
0.1 m/s	enfriamiento 0 °C
0.3 m/s	1 °C
0.7 m/s	2 °C
1.0 m/s	3 °C
1.6 m/s	4 °C
2.2 m/s	5 °C
3.0 m/s	6 °C
4.5 m/s	7 °C
6.5 m/s	8 °C

FIGURA 16. ENFRIAMIENTO EN EL CUERPO HUMANO CON EL AUMENTO DE VELOCIDAD DEL AIRE ALREDEDOR DE ÉL. CONSIDERANDO HUMEDAD DEL 50% Y TEMPERATURA AMBIENTE DE 20°C.

La temperatura resultante seca es igual a la temperatura ambiente que, con aire en calma daría la misma sensación de confort que la sentida realmente. Es decir que siempre con aire en calma la temperatura resultante seca será igual a la temperatura ambiente. Se le llama temperatura resultante seca porque es independiente de la humedad del aire. Por ejemplo si se tuviera una temperatura del aire en calma a 20°C (aire en calma se considera entre 0m/s - 0.075m/s), sería equivalente a tener una temperatura de aire de 22.5°C pero con un movimiento de aire de 0.5m/s disminuye a 20°C ya que al hacer circular el aire a una velocidad de 0.5m/s se producen mayores pérdidas de calor por convección de muebles, personas, focos y lámparas, maquinas de oficina, aparatos electrónicos, etc. de una habitación con lo cual existe una disminución de la temperatura del lugar con una caída de temperatura resultante seca de 2.5°C según la figura 16.

Algo que es preciso destacar es que la disminución de esta temperatura se presenta solo con la existencia de esta ventilación pero también es afectada por el tiempo en el que se hace circular el aire, ya que las condiciones de temperatura de un lugar cambian mientras se mantiene activada la ventilación cambiando así la temperatura del lugar por los mismos fenómenos de convección y evaporación.

Cuando la velocidad del aire aumenta, el coeficiente de convección y evaporación crecen, mientras que el coeficiente de radiación permanece constante. La temperatura del ambiente se aproxima a la temperatura del aire. Por ejemplo si la temperatura ambiente inicialmente de un cuarto es de 20°C y se hace circular el aire con una velocidad de 0.5m/s correspondiente a un enfriamiento de 2.5°C, la temperatura disminuirá a $[20 - 2.5] \text{ °C} = 17.5\text{ °C}$ que corresponderá a temperatura ambiente sentida por el cuerpo humano. Como se muestra en la figura 17.

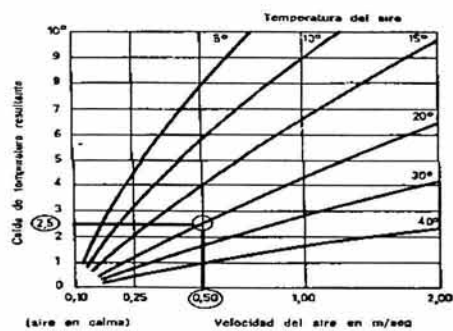


FIGURA 17. CAÍDA DE TEMPERATURA RESULTANTE EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DEL AIRE

2. TÉCNICAS DE CONTROL.

2.1. ACCIONES DE CONTROL RETROALIMENTADO.

Todo sistema de control retroalimentado contiene los siguientes elementos:

- 1.- Una variable controlada (variable a controlar).
- 2.- Un controlador.
- 3.- Una o más fuentes de energía.
- 4.- Un dispositivo controlado que es el que recibe la acción del controlador y regula alguna variable de algún agente de control.
- 5.- Un agente de control que es el medio que regula el dispositivo controlado.
- 6.- Una planta de proceso que se le nombra al equipo que ejecuta la acción para lograr el control final. El cambio en el funcionamiento de la planta de proceso modifica la condición de la variable controlada, completando así la acción deseada.
7. La señal controlada obtenida a la salida del sistema de control es retro alimentada a la entrada del controlador para compararla con la señal original y realizar más eficientemente el proceso de control.

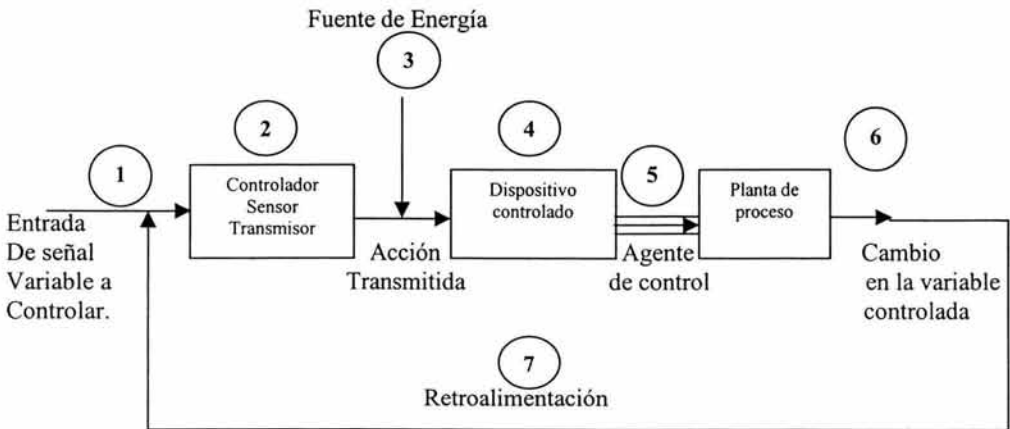


FIGURA 18. ELEMENTOS DEL CONTROL RETROALIMENTADO.

2.2. TIPOS DE CONTROL RETROALIMENTADO.

2.2.1. Control de dos posiciones.

Se le llama también comúnmente “encendido y apagado”. Por ejemplo si el dispositivo a controlar es un motor, puede arrancar o detenerse mediante el controlador de dos posiciones. Existen algunos términos que definen a este tipo de acción como son:

El diferencial: es un término importante en la acción de control de dos posiciones. Se refiere al rango de valores de la variable controlada dentro del cual se verifica la acción. En el sistema hay dos diferenciales:

El diferencial del controlador es el rango que se ajusta en el dispositivo de control para los valores de la variable a los que se transmite la acción al dispositivo controlado. Por ejemplo, si un termostato se ajusta para pasar de una posición de 20°C a otra posición a 22°C se dice que el diferencial entre las dos lecturas es de 22°C – 20°C = 2°C en sentido de ascenso de temperatura debido al signo positivo del resultado final. Tomando dos únicos estados de actuación del sistema entre encendido o apagado.

El diferencial de operación es el rango que toma realmente el valor de la variable controlada. Este diferencial con frecuencia será mayor que el ajuste del diferencial del controlador, porque hay un retraso en la respuesta del dispositivo controlado y el medio. Por ejemplo, cuando un termostato hace que se cierre una válvula de agua caliente, el convector sigue calentando el recinto durante un corto tiempo, debido al agua caliente que todavía queda en la unidad y a un efecto de inercia a seguir calentando.

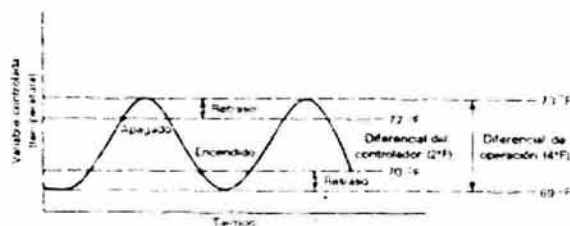


FIGURA 19. ACCIÓN DE CONTROL DE DOS POSICIONES. [LIBRO 5 BIBLIOGRAFÍA]

2.2.2. Control Proporcional.

En este tipo de acción, la intensidad de la variable manipulada del controlador varía directamente en proporción a la cantidad de cambio en la variable controlada. A su vez, el dispositivo controlado se mueve en forma proporcional a la intensidad de la señal, tomando una posición intermedia fija en un punto relacionado al cambio de la variable. Este tipo de acción puede dar una respuesta mucho más fina a los cambios de carga que los tipos de control basado en dos posiciones, debido a que la respuesta es proporcional a las necesidades, y no es una respuesta de encendido o apagado. La relación entre la salida del controlador $m(t)$ y la señal de error actuante $e(t)$ es:

$$m(t) = K_p e(t)$$

Donde K_p se denomina sensibilidad proporcional o ganancia del controlador.

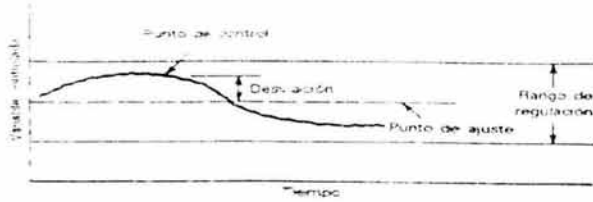


FIGURA 20. ACCIÓN DE CONTROL PROPORCIONAL. [LIBRO 5 BIBLIOGRAFÍA]

2.2.3. Control Integral.

En un control integral, el valor de la salida del controlador $m(t)$ varía proporcionalmente a la señal de error actuante $e(t)$. Este tipo de acción reduce la cantidad de desviación con respecto a un punto dado de operación, es decir, calculando la suma de desviaciones de error que hay respecto al punto de operación, el control actúa dirigiendo el controlador hacia el punto objetivo de control, compensando en sentido inverso la suma de errores calculada. La expresión que lo define es:

$$d m(t) / dt = K_i e(t)$$

integrando ambos lados de la ecuación anterior se tiene:

$$m(t) = K_i \int e(t) dt$$

Donde $m(t)$ es la salida del controlador.

K_i es una constante regulable.

T_i es el intervalo de tiempo en que se realiza la suma de los errores existentes respecto de la acción proporcional y $K_i = K_p/T_i$.

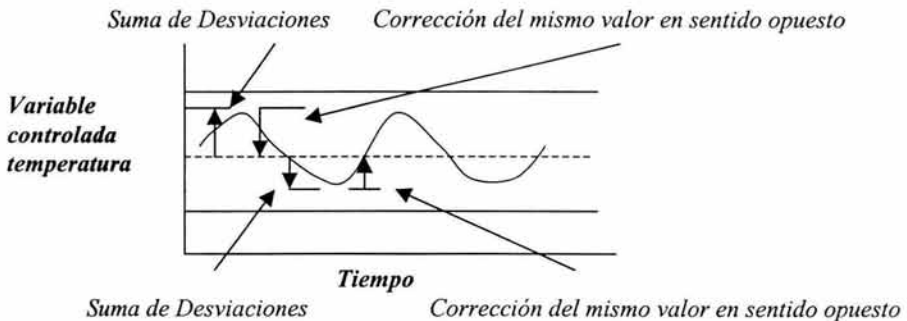


FIGURA 21. ACCIÓN DE CONTROL INTEGRAL.

2.2.4. Control Derivativo.

El control derivativo denominado control de rapidez de cambio, es cuando el valor de salida del control es proporcional a la rapidez de variación de la señal de error actuante. La acción de control derivativo tiene carácter de anticipación en cuanto a conocer que tan rápido o lento ocurre una acción determinada.

El control derivativo queda definido por la siguiente expresión:

$$m(t) = K_p T_d * d e(t)/d t$$

Donde K_p es la sensibilidad del control proporcional. El tiempo derivativo T_d es el intervalo de tiempo en el que la acción de control de rapidez de cambio se adelanta o atrasa al efecto de acción proporcional.

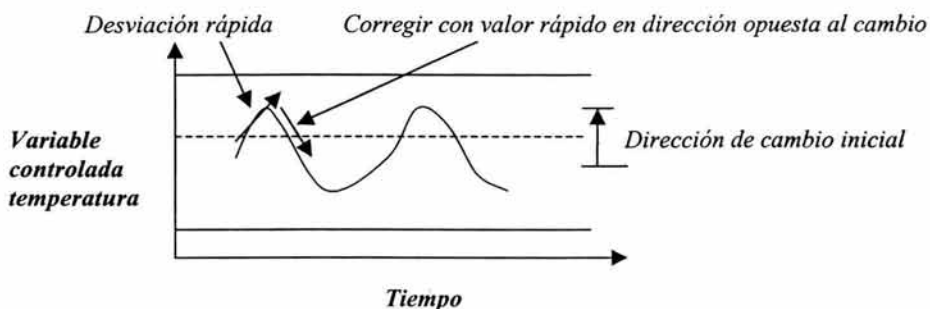


FIGURA 22. ACCIÓN DE CONTROL DERIVATIVO.

2.2.5. Control Proporcional + Integral (P + I).

Este tipo de control combina la acción proporcional con la acción integral llamada de reajuste cuando se tiene una desviación al punto de control varía inversamente a la dirección de la acción que se realiza sumando el mismo error de desviación pero en sentido inverso moviéndose hacia el punto de ajuste, es decir, ajusta el error que se tuvo inicialmente pero con signo contrario a este error.

La expresión que lo define es la siguiente:

$$m(t) = K_p e(t) + K_p/T_i \int e(t) dt$$

Donde K_p representa la sensibilidad proporcional o ganancia y T_i es el tiempo integral de la suma de errores. Ambos K_p y T_i son regulables. El tiempo integral regula la acción de control integral, mientras una modificación en K_p afecta tanto a la parte integral como a la parte proporcional de la acción de control.

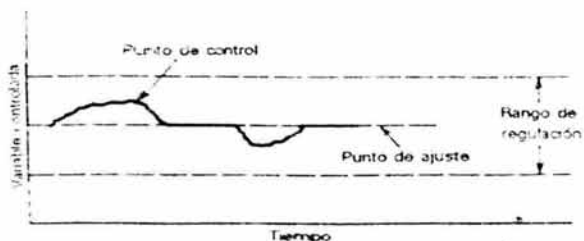


FIGURA 23. ACCIÓN DE CONTROL PROPORCIONAL + INTEGRAL. [LIBRO 5 BIBLIOGRAFÍA]

2.2.6. Control Proporcional + Derivativo (P + D).

Este tipo de control contiene la constante de proporcionalidad más la acción derivativa con lo que obtiene un tipo de control que regula el error proporcional existente en una variable a controlar y además se suma la acción de verificar la rapidez con que el sistema se acerca al punto de control requerido.

La acción de control proporcional y derivativa queda definida por la siguiente ecuación:

$$m(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

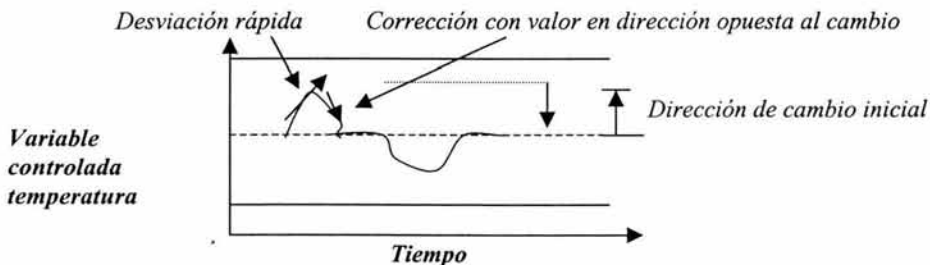


FIGURA 24. ACCIÓN DE CONTROL PROPORCIONAL + DERIVATIVO.

2.2.7. Control Proporcional + Integral + Derivativo (P + I + D).

La acción de control proporcional y derivativa e integral combinada tiene las ventajas de que cada una de las tres acciones de control individuales tanto de control de ganancia directa, control dependiendo de la suma de los errores para determinar el punto de acción donde se encuentra el control y el control dependiendo de la velocidad de cambio de alguna variable controlada, logra en algunos casos un control acorde que funciona eficientemente. La ecuación de un control con esta acción de control combinada está dada por:

$$m(t) = K_p e(t) + K_d \frac{de(t)}{dt} + K_i \int e(t) dt$$

Donde K_p representa la sensibilidad proporcional, T_d es el tiempo derivativo y T_i es tiempo integral.

$$K_d = K_p * T_d ; \quad K_i = K_p / T_i.$$

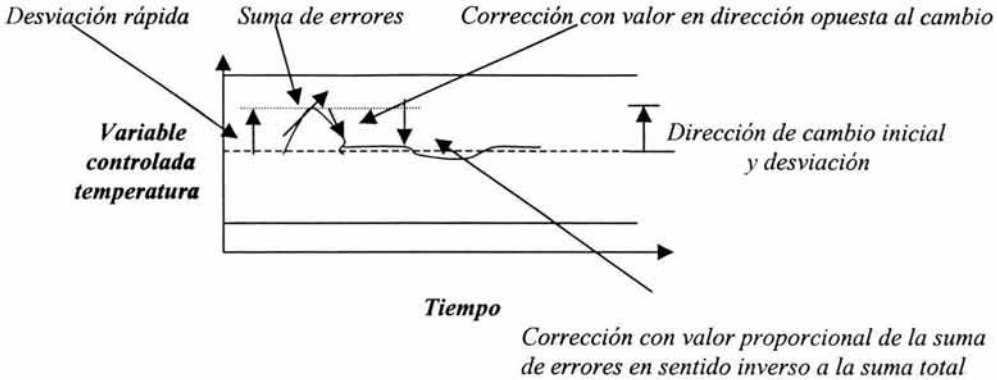


FIGURA 25. ACCIÓN DE CONTROL PROPORCIONAL + INTEGRAL + DERIVATIVO.

2.3. SISTEMAS DE CONTROL.

2.3.1. Sistemas de control con aprendizaje.

Muchos sistemas de control aparentemente de lazo abierto, pueden convertirse en sistemas de lazo cerrado si un operador humano se considera como un controlador, que compara la entrada y la salida y realiza las acciones correctivas basadas en la diferencia resultante de error.

Si se intenta analizar tales sistemas de control de lazo cerrado con intervención humana, se encuentra el difícil problema de plantear expresiones algebraicas o funciones de transferencia que describan el comportamiento del operador humano.

2.3.2. Método de GAIN SCHEDULING de control de aprendizaje.

Este método de control de aprendizaje se basa en un sistema de control de malla cerrada, con el controlador en la trayectoria directa, y la existencia de una planta auxiliar que modifica las ganancias o parámetros del controlador (PC) ante la presencia de situaciones cambiantes, ver figura 26.

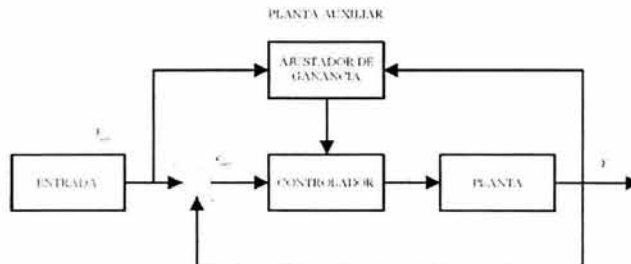


FIGURA 26. DIAGRAMA A BLOQUES DEL MÉTODO DE GAIN SHEDULING.

La planta auxiliar esta constituida por una tabla de valores donde se almacenan las ganancias del controlador (PC), las mediciones (Y) de los puntos de operación de la planta física para cada instante y la adecuada lógica de correlación entre ambas, que permite calcular los parámetros convenientes para el controlador.

Debido a que los parámetros son cambiados en línea, la frecuencia y velocidad con la que éstos son modificados quedan limitados para evitar inestabilidad a la planta. Una de las desventajas de esta técnica radica en el hecho de que no se evalúan las ganancias por la planta auxiliar, tal que ante cambios impredecibles en la dinámica de operación de la planta se puede provocar el deterioro o la falla total del punto de operación. Adicionalmente, el costo de diseño e implantación se incrementa con el número de puntos de operación.

2.3.3. Control adaptable directo.

Este método se basa en un sistema de control de malla cerrada, con el controlador en la trayectoria directa y la existencia de una planta auxiliar (conectada en paralelo con la planta física) que modifica las ganancias o parámetros del controlador en cada instante t , para mantener el punto de operación deseado. Ver la figura 27.



FIGURA 27. DIAGRAMA A BLOQUES DE UN CONTROL ADAPTABLE DIRECTO.

La planta auxiliar esta constituida por el modelo parametrizado de la planta física, en términos de algún vector desconocido de parámetros del controlador, el cual se desea calcular (o actualizar). Este modelo posee exactamente las mismas características y requerimientos de funcionalidad de la planta. En línea, la planta auxiliar procesa las entradas y salidas de la planta, hace estimaciones directas de los parámetros del controlador y los asigna como el nuevo vector de parámetros para el controlador (PC), en cada tiempo t . Es claro que el problema de esta técnica radica en las propiedades seleccionadas para el modelo, las leyes de control elegidas y la forma de generar la estimación de parámetros.

El control adaptable directo está enfocado principalmente a modelos entrada/salida (SISO), lineales LTI, de fase mínima (ceros y polos localizados en el semiplano complejo izquierdo).

2.3.4. Control adaptable indirecto.

En este método la planta auxiliar (conectada en paralelo con la planta física) estima el vector de parámetros del modelo de la planta y las ganancias o parámetros del controlador para modificar a éste cada tiempo t , ver figura 28.

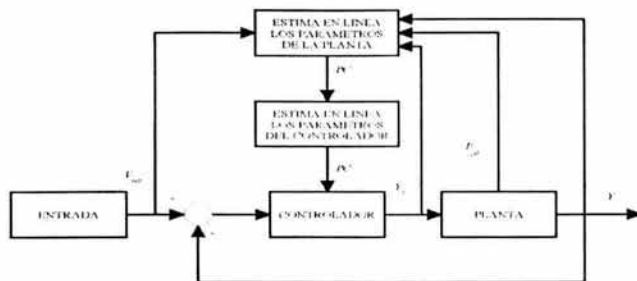


FIGURA 28. DIAGRAMA A BLOQUES DEL ESQUEMA DE CONTROL ADAPTABLE INDIRECTO.

La planta auxiliar está constituida por el modelo parametrizado de la planta física, en términos de algún vector de parámetros desconocido de ésta. En línea, los parámetros de dicho vector, son estimados para cada tiempo t , a partir del procesamiento de las entradas y salidas de la planta. Con los parámetros estimados se establece el modelo estimado de la planta, que para fines de diseño es tratado como el verdadero y usado para calcular los parámetros o ganancias del controlador, resolviendo una ecuación matemática para cada tiempo t . La ley de control y la ecuación algebraica utilizadas en la estimación del vector del controlador, son las mismas que se hubiesen usado para cumplir con los requerimientos de funcionalidad de la planta conocida. Es claro que el problema de esta técnica radica en la clase de leyes de control elegidas, la clase de estimación de parámetros utilizada y del uso de una correcta ecuación algebraica.

El diseño de control adaptable directo e indirecto se basa en el principio de equivalencia cierta, que establece que el desempeño del controlador tenderá a ser igual al desempeño del controlador de parámetros conocidos, si los parámetros estimados tienden a igualar a los parámetros reales desconocidos.

2.3.5. Control adaptable por modelo de referencia.

Este método sugiere la existencia de un lazo cerrado entre la planta física y el controlador y una planta auxiliar (conectada en paralelo a la malla directa formada por el controlador y la planta misma) que sirve como un modelo de referencia para determinar el error entre la salida deseada (obtenida de la planta auxiliar) y la obtenida de la planta física. Ver la figura 29.

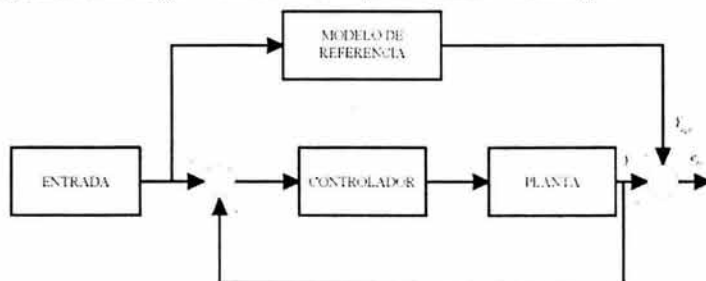


FIGURA 29. DIAGRAMA A BLOQUES DEL ESQUEMA DE CONTROL ADAPTABLE USANDO EL MODELO DE REFERENCIA ADAPTABLE.

El objetivo del control adaptable en este esquema del modelo de referencia (MRC), es encontrar las leyes de control de malla cerrada que combinen la estructura y dinámica de la planta para que las propiedades de entrada/salida sean exactamente iguales a las del modelo de referencia. Esto se logra cancelando los ceros de la función de transferencia de la planta y remplazándolos con los del modelo de referencia. La cancelación de los ceros se restringe a plantas de fase mínima.

Lo anterior sugiere que para cualquier entrada aplicada al modelo de referencia y a la planta al mismo tiempo las salidas para ambos deben ser aproximadamente iguales y por lo tanto el error consiguiente debe tender a cero con el tiempo. El diseño del controlador requiere el conocimiento de los coeficientes de la función de transferencia de la planta. Si el vector de parámetros se desconoce se puede recurrir a estimar y acción subsecuente calcular el controlador.

2.3.6. Control adaptable por asignación de polos.

El objetivo del control por asignación de polos (PPC) es encontrar una ley de control de malla cerrada para que la ubicación de los polos de dicha malla sea determinada por la estructura del controlador y el vector de parámetros previamente elegido. Para calcular el vector de parámetros del controlador es necesario conocer el vector de parámetros de la planta, de no ser conocido éste, debe ser estimado.



FIGURA 30. DIAGRAMA DE CONTROL ADAPTABLE POR ASIGNACIÓN DE POLOS.

2.3.7. Control fuzzy (Control Difuso).

El Control Fuzzy (Control Difuso) se basa en una lógica multivaluada que permite valores intermedios para poder definir evaluaciones convencionales para aplicar el control de un dispositivo. Las nociones como "muy caliente" o "poco frío" pueden formularse matemáticamente y ser procesados por microcontroladores. De esta forma se ha realizado un intento de aplicar una forma más humana de pensar en la programación de computadoras.

En esencia un controlador lógico difuso, contiene un algoritmo que es capaz de convertir una estrategia de control lingüística en una estrategia de control automático. Con la lógica difusa se pueden diseñar aplicaciones para que las máquinas respondan con mayor inteligencia a la imprecisión y a las condiciones del mundo exterior no lineales, con lo que se busca imitar el comportamiento humano.

La creación de una máquina con lógica difusa, es forjar un sistema experto, en donde el comportamiento de la máquina, sea basado totalmente en el conocimiento del experto o de la persona que aporta sus conocimientos empíricos pero evaluados eficazmente por optimización para el funcionamiento correcto de la planta por medio de reglas de la lógica tradicional.

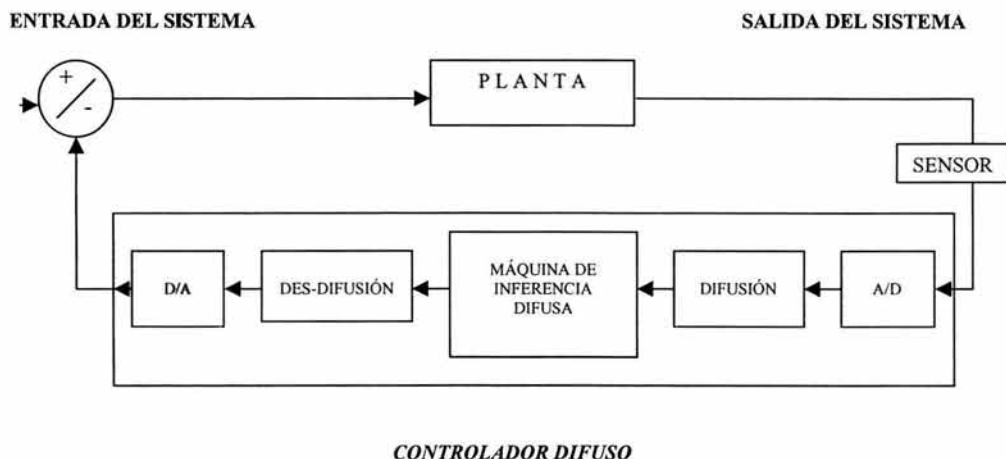


FIGURA 31. DIAGRAMA A BLOQUES DE UN TÍPICO SISTEMA DE CONTROL DIFUSO QUE MUESTRA LA DIFUSIÓN (FUZZYFICACIÓN), DESDIFUSIÓN (DES-FUZZYFICACIÓN), LA MÁQUINA DE INFERENCIA DIFUSA Y LOS CONVERTIDORES ANALÓGICO / DIGITAL Y DIGITAL / ANALÓGICO. [LIBRO 9 BIBLIOGRAFÍA]

3. TÉCNICA DE CONTROL DIFUSO EMPLEADO.

3.1. LA LÓGICA DIFUSA (LA LÓGICA FUZZY).

La lógica difusa (La lógica Fuzzy) tiene su inicio con un investigador ruso llamado Lukasiewicz quien en el año de 1920 planteó la lógica vaga y multivaluada.

El introductor de la idea de la lógica difusa en la ingeniería actual fue Lotfi Zadeh, un profesor matemático iraní residente en los Estados Unidos que en 1965 en la Universidad de California en Berkeley publicó un reporte llamado Conjuntos Difusos, donde presentó formalmente la teoría de estados multivaluados, y se introdujo el término difuso en la literatura técnica. Lotfi Zadeh expande la idea de los estados clásicos de lógica Booleana a los que nombró estados difusos. A diferencia de la lógica Booleana que se basa en dos valores, la lógica difusa es multivaluada, por lo que se considera un número infinito de grados de valor o grados de verdad y falsedad. Es decir, algunas cosas pueden ser parcialmente verdaderas y parcialmente falsas simultáneamente.

La teoría de la Lógica Difusa se asemeja al razonamiento humano en su uso de la información y de la incertidumbre aproximada de generar decisiones. Fue diseñada específicamente para representar matemáticamente la incertidumbre y la imprecisión y proporcionar una formalización de las herramientas para ocuparse de lo intrínseco y de la imprecisión que muchos problemas presentan y que para poder resolverse exigen un alto grado de precisión.

Puesto que el conocimiento se puede expresar en una forma más natural usando sistemas difusos, muchos de los problemas de la ingeniería y de la decisión pueden ser simplificados de esta forma grandemente.

La toma de decisiones para poder resolver problemas muchas veces son demasiado complejas para ser expresadas cuantitativamente, sin embargo se ha observado un buen control para sistemas altamente no lineales en base a la experiencia humana utilizando el conocimiento que es impreciso más bien que el conocimiento preciso. En la lógica "fuzzy" cuyo significado se tradujo al español con diferentes términos como son lógica difusa, confusa, vaga, opaca, rizada, no definida, fue uno de los elementos que trajo consigo la "confusión" de su filosofía ya que se trata de una forma de razonamiento que incorpora criterios múltiples para tomar decisiones y una gama de valores múltiples para evaluar posibilidades.

La lógica difusa puede ser empleada para resolver problemas con carácter de variación muy rápida ante condiciones que desestabilicen un sistema o alteren su funcionamiento, tal es el caso de controlar alguna variable ambiental que por su naturaleza es variante en el tiempo y depende de otras variables, mas de tal forma que de modelarlo por la teoría de control clásica el modelo resultante no satisface el control requerido para la variable indicada.

En el caso de los sistemas de ventilación y regulación de temperatura, se observa que estos sistemas requieren de un tipo de control adaptable que puede ser ajustado al constante cambio de condiciones ambientales, ya que, los controles automáticos actuales contiene dispositivos nombrados termostatos que se activan a cierta temperatura y se desactivan a otra temperatura, con ello se obtiene un control del tipo encendido apagado, no muy preciso con lo que existe un nivel de diferencia en la operación, es decir, por ejemplo, cuando un termostato hace que se desactive la alimentación de un ventilador o calefactor, esto ocurre un tiempo antes o al momento de la

medición de la temperatura de referencia con lo que el cuarto no se ajusta a cierta temperatura precisa requerida y siempre variando de acuerdo a la variación de las condiciones ambientales estableciéndose un tipo de control que dispara burdamente el dispositivo controlado.

En otro tipo de sistemas el control se realiza directamente por un operador quien constantemente se encarga (en el caso de la temperatura) de regular la ventilación y el cambio de temperatura de acuerdo a su conocimiento experto basado en la observación razonamiento e intuición del usuario. Este tipo de conocimiento se plantea, para poder aprovecharse y generar un controlador a partir del funcionamiento de una máquina de inferencia difusa en base a reglas de evaluación dadas por el propio conocimiento humano comprobado descrito para obtener el mismo o mejor funcionamiento para el controlador que el del usuario experimentado.

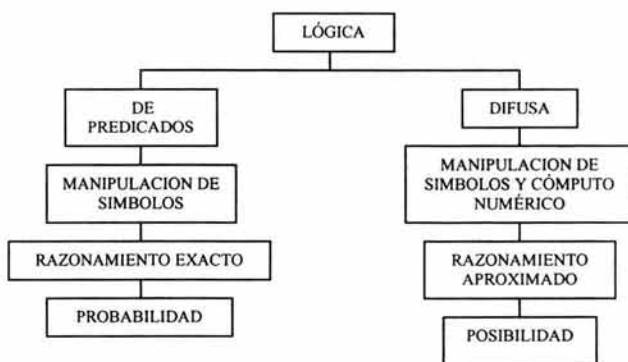


FIGURA 32. ALGORÍTMO CONTROL FUZZY [LIBRO 10 BIBLIOGRAFÍA]

3.2. BREVE HISTORIA DE LA LÓGICA DIFUSA (FUZZY) APLICADA.

En el año de 1975 Madani, Q.M. en el Colege Londres desarrolla el control de un motor de vapor aplicando lógica difusa.

En 1980 se realiza un control de la planta cementera en Finlandia F.L. Smidth & Co. Copenhague.

En el año de 1988 en Sendai (Japón) la firma Hitachi diseña un control de piloto automático difuso para el comando de un tren eléctrico con un recorrido de 13.5 Km. actualmente todavía en operación sin accidentes que reportar. Para lo cual se tuvieron que realizar pruebas de pilotaje durante 3000 veces.

En 1989 Se crea el Laboratory of Internacional Fuzzy Research el (LIFE) en Yokohama, Japón en donde se unieron firmas de calidad mundial reconocidas en el campo de electrónicos para el Hogar en donde se dedicaron al estudio y desarrollo de las herramientas para diseñar el control difuso.

En 1992 En Japón se vendieron más de 2 millones de dólares en productos donde se aplicó la lógica difusa entre lo que destaca el freno de automóviles llamado antibloqueo ABS, sistemas de eficiencia en inyección de combustible FUEL INJECTION, entre otros.

Entre 1999 y 2004 en México se observa la comercialización de aparatos que contienen lógica difusa para un mejor funcionamiento optimizado, tal es el caso de lavadoras con control fuzzy, secadoras, sistemas de navegación empleando lógica difusa, "celulares inteligentes", cámaras fotográficas analógicas y digitales con autoenfoco y sistema de mejoramiento de imágenes, funciones de automatismo de videocámaras, entre otros.

3.3. CONJUNTOS DIFUSOS.

Un conjunto difuso puede ser visto como una generalización del conjunto binario que toma sólo los valores 0 ó 1. En la lógica bivaluada la transferencia de un estado a otro es instantánea (es decir, un elemento pertenece a un estado o no). En la lógica difusa la transición puede ser gradual (es decir un elemento puede tener parcial relación en múltiples estados). En un sistema difuso, un pequeño cambio en la variable de entrada, da como resultado un cambio más natural en el funcionamiento del sistema. La lógica difusa difiere de la lógica dicotómica (lógica de dos valores) en este sentido. En la lógica dicotómica se espera derivar una solución decidiendo por sí o por no (1 ó 0) absolutos, es decir, si cada una de las restricciones o parámetros es verdadera o falsa, pero en lógica difusa es admisible usar escalas de condiciones (restricciones) y matices (flexibilidad) en los valores numéricos. En el intervalo [0...1] existe un infinito número de valores por ejemplo considerando solo diez de ellos [0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1] sin necesidad de ser un número entero estrictamente. Por ello se basa en grados de verdad en contraposición de una verdad absoluta cosa común en la utilidad práctica.

El razonamiento difuso se acerca al razonamiento humano, por ejemplo si consideramos que en lenguaje común no expresamos al pedir un vaso de agua cuantos mililitros de masa acuosa requerimos sino que únicamente requerimos muy poca agua, poca agua, regular de lleno el vaso de agua, una buena cantidad de agua o mucha agua y la persona que sirve el agua automáticamente llena el vaso con agua aproximadamente al nivel que sería la cantidad indicada de acuerdo a la experiencia. Lo mismo ocurriría si se trata de cruzar una avenida donde no existe un puente peatonal en cuyo caso resultaría muy complicado obtener una función de transferencia que realizara la acción requerida de control para cruzar la calle. En su lugar el peatón verifica la existencia de automóviles y observa la velocidad (sin cálculo numérico exacto) a la que se aproxima el auto todo ello inconscientemente y de acuerdo a sus posibilidades de velocidad de caminar o correr esto derivado de la experiencia anteriormente obtenida por el propio ser humano es como decide cruzar o no cruzar la calle y en tal caso decide con que velocidad realizará esa acción sin la necesidad de una velocidad fija y determinada de un valor de cálculo requerido.

En el caso de los conjuntos difusos un ejemplo de la vida cotidiana es el hecho que se estableciera en un estudio de población un rango de edades para clasificar la población de un país pensando en México según la edad. En donde el primer rango correspondiera a bebés de 0 a 5 años, niños de 6 a 11 años, adolescentes de 12 a 17 años, adultos de 18 a 40 años, adultos maduros de 41 a 65 años y adultos en plenitud de 65 a 100 años. Para empezar un bebé de 5 años 5 meses ¿tendería a clasificarse como bebé o como niño? De tal forma que se forma un caos la clasificación, ya que, si se decidiera para el primer caso aumentar la clasificación de 0 a 5.5 años para bebés y de 5.5 años un

día a 11 años, para niños, quiere decir que ¿un día este ser humano será un bebe y al día siguiente se convirtió automáticamente en niño? No corresponde a la lógica común. Tampoco el caso en que un adulto maduro un día es adulto maduro y al siguiente día ya es adulto en plenitud.

En lógica difusa para resolver este dilema se emplea el traslape entre conjuntos, es decir, una persona de 3 años pertenece en un grado al conjunto de bebes y en otro grado al conjunto de niños y lo mismo pasaría con todos los conjuntos de tal forma que la gente cambiaría de clasificación de bebe a adulto en plenitud de una forma paulatina perteneciendo a varios conjuntos según su edad.

3.4. NOTACIÓN ALGEBRAÍCA

Un conjunto difuso se define como A;

$$A = \{x; u(x) / x \in X; 0 \leq u(x) \leq 1\}$$

En donde X no es el universo absoluto y el rango de pertenencia de un valor toma valores entre cero y uno como forma normalizada.

x es un elemento del universo X .

$u(x)$ es una función del valor de pertenencia del elemento de entrada difusa x .

Notación de Zadeh

Conjunto Discreto $A = \sum u(i)/x_i$

3.5. MÁQUINA DE INFERENCIA DIFUSA.

La máquina de inferencia difusa empleada en el control difuso es la siguiente:

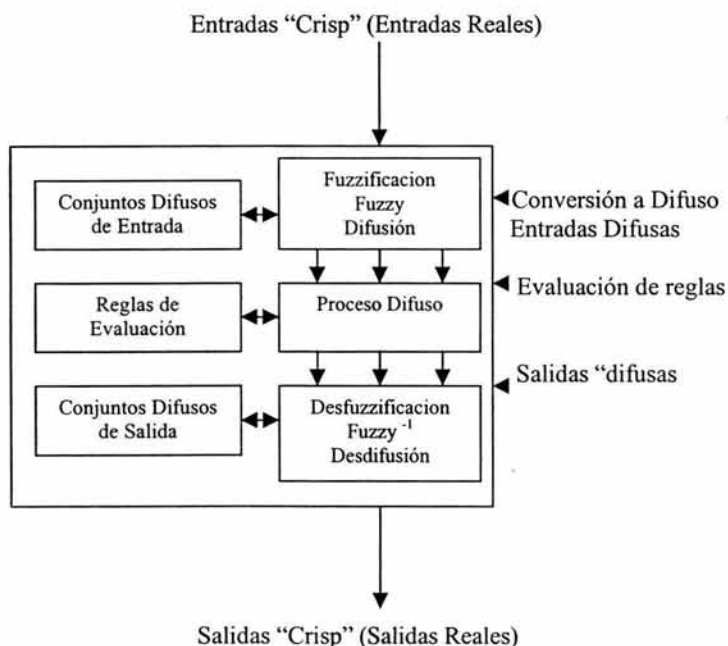


FIGURA 33. MÁQUINA DE INFERENCIA DIFUSA.

En el esquema se observa que el proceso inicia con una entrada o variable real, esta entrada recibe el nombre de entrada “crisp” es decir “nítida” la entrada de esta variable se hace a la base de conocimiento o máquina de razonamiento. Se realiza la fuzzificación o difusión de los valores “crisp”.

La máquina cuenta con una base de conjuntos difusos de entrada que son empleados para obtener con ellos las entradas difusas. Se realiza un proceso difuso en donde se evalúan reglas de la lógica comúnmente empleadas en todo lenguaje de programación para computadoras como son IF THEN se obtienen así las salidas difusas.

El siguiente empleo es obtener la desfuzzificación o desfuzzificación de las salidas difusas a través de conjuntos difusos de salida para obtener las salidas “crisp” o salidas reales mismas que se aplicaran a un agente de control y este a su vez a la planta de proceso.

3.6. ENTRADA REAL

La entrada real al sistema proviene de la variable o variables que se desean controlar esto es, proviene regularmente de un sensor que envía una señal en este caso eléctrica de la variable a controlar acondicionada que se introduce al controlador propiamente.

3.7. MÉTODOS PARA DEFINIR CONJUNTOS DIFUSOS.

Los métodos para definir conjuntos difusos consisten en base a: Intuición, Inferencia, Ordenamiento por rango, Conjuntos difusos Angulares, Redes Neuronales, Algoritmos Genéticos, Razonamiento Inductivo. Un método de intuición sería el caso del conocimiento de un experto este es un conocimiento empírico de cómo controlar un fenómeno, sin conocer ningún modelo del sistema a controlar dado que aún existen problemas del mundo real en donde los sistemas no pueden ser modelados y en su lugar es controlado por este experto. Para el caso de establecer la preferencia de un color determinado entre un grupo o población el método indicado sería una encuesta entre las personas en donde se emplea el método de ordenamiento por rango. Otro método muy usual consiste en la inferencia de un fenómeno aproximando a un grado de verdad de un hecho dado.

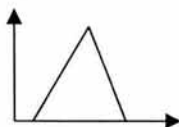
3.8. DIFUSIÓN.

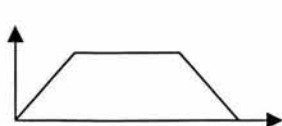
La difusión se realiza para poder obtener los grados de pertenencia que posee la señal de entrada real con respecto a los conjuntos difusos que se encuentran en el interior del controlador como una base de conocimiento para poder ser procesados en la evaluación de reglas.

A) Conjuntos Normalizados.

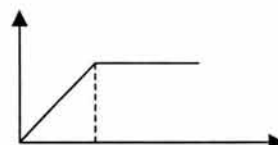
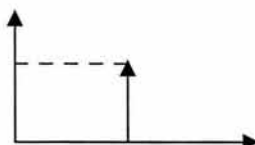
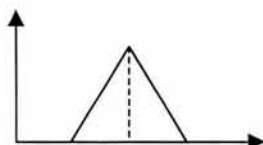
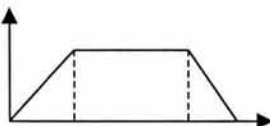
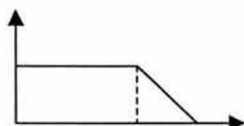
$0 \leq u(x) \leq 1$ con $u(x)$ función de pertenencia del elemento x entre el rango de 0 a 1

B) Conjuntos Convexos.





C) Conjuntos usuales



3.9. PROCESO DE EVALUACIÓN Y TOMA DE DECISIONES.

La lógica es la ciencia que estudia la capacidad del hombre para razonar, el medio para inferir respuestas correctas u organizar las palabras para formar juicios, plantear la estructura del pensamiento en su interés por la verdad es la que se emplea para poder establecer relaciones o conectivos entre oraciones. A diferencia de la Lógica Difusa que es un método de formalizar la capacidad humana de razonar en forma imprecisa (razonamiento aproximado) en la toma de decisiones.

La lógica de predicados establece que:

Sea P : un juicio lingüístico o declarativo que esta contenido en un universo X

Por lo tanto:

$P \subset X$ y P es un conjunto

Sea $T(p)$ El grado de verdad de P

$T(p) = \{1 \text{ Verdadero}; 0 \text{ falso}\};$

$T(p \text{ (Difuso)}) = \{1 \text{ Verdadero}; \text{valores intermedios medio verdadero o medio falso}; 0 \text{ falso}\};$

Sean P y Q proposiciones en el mismo universo X

P y Q se pueden unir con conectivos.

Conectivos

- Disyunción
- Conjunción
- Negación
- Implicación
- Equivalencia

Operador

- \wedge
 \vee
 \neg
 \rightarrow
 \leftrightarrow

Significado

- "O"
 "Y"
 "No"
 "Si Entonces"
 "Si y Solo Si"

En el proceso de evaluación de reglas se encuentran reglas establecidas por un proceso experto para establecer si un valor pertenece a ciertos conjuntos para tomar la decisión correcta a aplicar a la salida del controlador tal o cual grado de acción.

Las reglas tienen una función del tipo SI.....Y.....ENTONCES de acuerdo a la lógica común para poder determinar la acción que se tomará por parte del controlador.

Al proceso anterior se le nombra proceso difuso ya que se están empleando términos completamente difusos por ejemplo: SI la diferencia entre temperatura actual y temperatura solicitada es MUY GRANDE ENTONCES aplicar MUCHA potencia al ventilador.

3.10. DESDIFUSIÓN.

Para el proceso de desdifusión se emplean cortes de conjuntos que determinen de este modo el proceso inverso de la difusión.

Cada método posee la particularidad de exactitud variable dependiendo de su forma de cálculo del valor nítido o real.

Pero en la experiencia del empleo de estos métodos sobresale el método de Singltons dado que su forma de cálculo es sumamente simple y resulta ser el más rápido ya que solo se basa en determinar por medio de un valor dado centro de máximos y obteniendo el valor de dicho Singleton por medio de la suma de productos entre las funciones de pertenencia por los valores difusos de salida entre la suma de los valores difusos de salida, es decir:

$$X = \frac{\text{SUM } u(x) * x}{\text{SUM } u(x)}$$

Donde $u(x)$ es una función de valor de pertenencia y x es el valor difuso de salida.

Con lo anterior se logra obtener rápidamente un valor de salida difuso disminuyendo el tiempo de cálculo que si se tuviera otro método más complicado.

4. MICROCONTROLADOR 68HC11.

Un microcontrolador es un sistema completo que incluye en un solo circuito integrado “chip” a un microprocesador que es una unidad que se encarga de ejecutar instrucciones de datos, contiene además una o más memoria, puertos de entrada/salida paralela, puertos de comunicación serie síncrona, convertidor analógico digital, unidad de tiempo (Timer), oscilador y reloj interno.

La arquitectura interna de un microprocesador varía ampliamente entre los diferentes fabricantes, sin embargo todos constan básicamente de las mismas partes. El MC68HC11F1 es un microcontrolador de 8 bits. Puede direccionar hasta 65536 bytes. Tiene algunas funciones para realizar instrucciones de 16 bits. Los sistemas periféricos que contiene se observan en la figura 34.

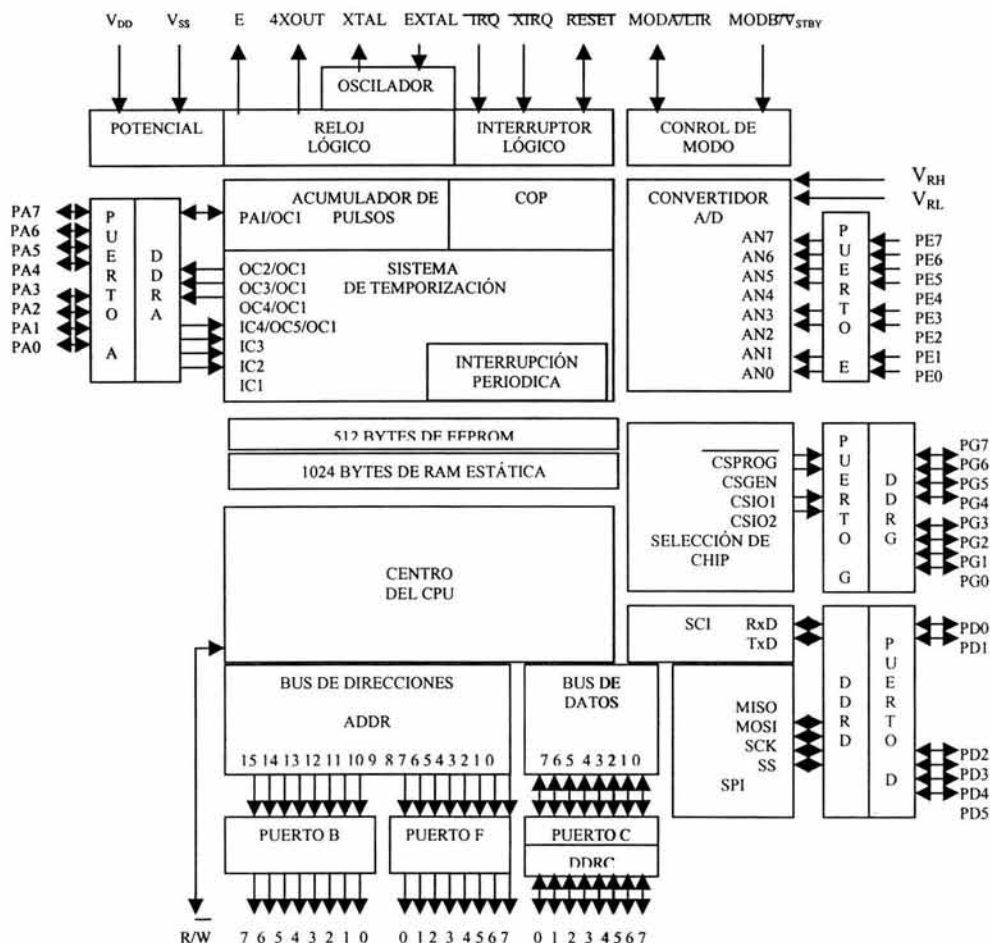


FIGURA 34. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL MC68HC11F1.

La arquitectura interna de un microprocesador varía ampliamente entre los diferentes fabricantes, sin embargo todos constan básicamente de las mismas partes.

Una arquitectura sencilla se muestra en el siguiente diagrama a bloques simplificado:

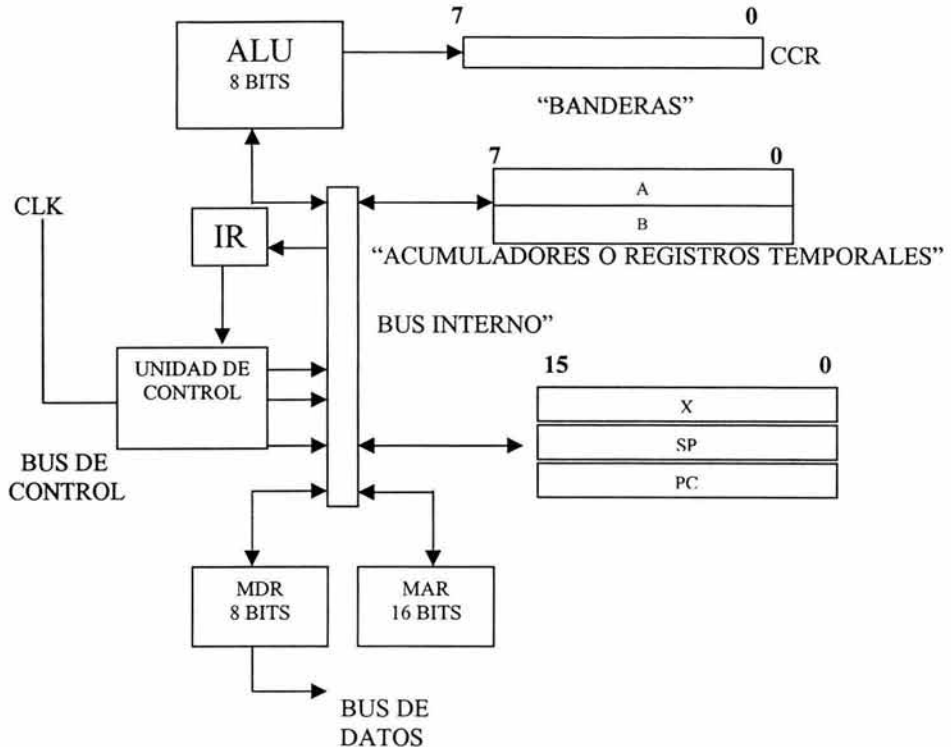


FIGURA 35. DIAGRAMA SIMPLIFICADO DE COMPONENTES DE UN MICROPROCESADOR

4.1. REGISTROS DE TRANSFERENCIA.

La unidad de Microprocesador (MPU) incluye diversos registros de propósito específico tales como:

- Registro de estados (CCR) ó banderas: Da el resultado de la última operación efectuada por la (Unidad Lógica Aritmética) ALU.
- Acumuladores: son registros para almacenar operadores para ser procesados por la ALU.
- MAR Memory Address Register (Registro de Localidades de la Memoria): Es un registro para direccionar unívocamente localidades de la memoria principal.
- MDR Memory Data Register (Registro de Datos de la Memoria): Es un registro para transferir datos de o hacia la memoria principal.

- e) IR Registro de instrucciones: Es un registro para almacenar el código de cada operación del MPU.
- f) PC Program Counter: Contador del programa, es un registro para almacenar la dirección de la próxima instrucción a ser procesada por el MPU.
- g) SP Stack Pointer: es un registro para manejar subrutinas.
- h) X Index register: Registro para manejo de índices.

4.2. TERMINALES DE ALIMENTACIÓN.

La energía es suministrada al microcontrolador por medio del CON_7 a las terminales +VE y T a partir de una fuente de voltaje o desde el comúnmente llamado eliminador (fuente de voltaje no regulada) con terminales positiva y tierra respectivamente. El voltaje aplicado en el conector CON_7 deberá ser mayor o igual a 7 volts y menor que 16 volts.

El microcontrolador también podrá ser alimentado a partir de una fuente de 5 volts respetando la polaridad indicada a partir del conector CON_8.

El conector CON_10 se emplea para conectar una batería de respaldo de la memoria RAM externa para no perder la información aunque el microcontrolador este sin alimentación este respaldo funciona con un voltaje comprendido entre 3 y 4.5 volts.

4.3. MODOS DE OPERACIÓN.

Los modos de operación se refieren a formas en que el microcontrolador puede ser utilizado para almacenar y ejecutar las instrucciones de trabajo que se emplearan con la finalidad de cubrir alguna tarea requerida.

4.3.1. Modo single-chip: Este modo de operación implica que el Microcontrolador funciona como tal, es decir con toda la disponibilidad de sus puertos y con un alcance para el usuario definido por su memoria interna.

4.3.2. Modo expandido: En este modo de operación el microcontrolador funciona como procesador es decir, direccionando una memoria externa, lo cual se realiza vía el bus de expansión de direcciones.

4.3.3. Modo especial (boot-strap): Este modo es una variación del modo single-chip, en el se ejecuta un programa Boot - Loader en una memoria ROM y un conjunto especial de vectores de interrupción y reset.

El microcontrolador direcciona el vector de reset y se ejecuta el programa Boot - Loader; este programa habilita la interfase de comunicación asíncrona (SCI) serial y permite que el usuario descargue programas de propósito específico en la memoria RAM interna del microprocesador.

4.3.4. Modo prueba: Este modo como su nombre lo indica funciona para verificar los recursos internos del microcontrolador normalmente ejecutado por el fabricante.

Estos modos de funcionamiento pueden ser ejecutados por medio de dos conectores (jumpers) entre dos terminales como los son los conectores J4 y J5 con la tabla característica de la figura 36.

MODA	MODB	MODO SELECCIONADO	ESTADO DE JUMPERS	
			J4	J5
1	0	Sencillo (single chip)	NO CONECTADO	CONECTADO
1	1	Expandido	NO CONECTADO	NO CONECTADO
0	1	Prueba (Test)	CONECTADO	NO CONECTADO
0	0	Especial (bootstrap)	CONECTADO	CONECTADO

FIGURA 36a. MODOS DE FUNCIONAMIENTO Y ESTADO DE JUMPERS DEL MICROCONTROLADOR MC68HC11

4.4. SISTEMA DE COMPUTADOR OPERANDO ADECUADAMENTE COP.

Este es un sistema que determina errores del procesamiento de programación. Cuando el COP esta habilitado, el programa que se esté utilizando debe limpiar el reloj del COP, de lo contrario al alcanzar cierto valor de éste, ocurre un restablecimiento.

4.5. TERMINAL DE RESTABLECIMIENTO RESET.

La terminal RESET es bidireccional, porque además de poder recibir un reset, el MC (microcontrolador) puede enviar una señal de restablecimiento a otros dispositivos, esto en caso de que el COP (Computador Operando Adecuadamente) ó el monitor del reloj detecte una falla.

4.6. PUERTOS DE ENTRADA Y SALIDA.

4.6.1. Puerto A.

El puerto A, tiene líneas de entrada y salida que son usadas como parte del sistema del timer o como líneas de propósito general. Tres terminales son de entrada de propósito general o entrada por captura y cuatro de salida de propósito general o salida por comparación y una más que puede ser usada como entrada o como salida PA7. La terminal PA7 puede ser usada también como entrada al acumulador de pulsos

4.6.2. Puertos B Y C.

El puerto B y C tienen diferentes funciones dependiendo del modo de operación. Cuando el microcontrolador trabaja en modo single-chip (chip único), las terminales del puerto B son siempre de salida y las del puerto C son bidireccionales y ambas de propósito general. Cuando el microcontrolador trabaja en modo expandido el puerto B y C sirven como bus de datos y bus de direcciones respectivamente, multiplexando en el puerto C, la parte baja de las direcciones con el bus de datos.

4.6.3. Puerto D, STRA Y STRB

El puerto D está formado por 6 terminales las cuales pueden ser utilizadas como comunicación serial o como líneas de entrada o salida de propósito general. Para la comunicación asíncrona la terminal PD0 es usada para recibir datos seriales y la terminal PD1, es usada para

transmitir datos seriales. Estas dos terminales están asociadas con un bloque interno del microcontrolador llamado SCI Interfase de Comunicación Serial. Este bloque realiza las funciones de propósito general URT (universal asíncrono receptor / transmisor).

Las cuatro líneas restantes del puerto D pueden ser también configuradas para comunicación serial, estas se encuentran asociadas con el bloque llamado SPI (Interfase Periférica Serial con siglas en inglés).

Este bloque es usado comúnmente para comunicarse con otros dispositivos electrónicos, como por ejemplo: desplegados de cristal líquido, convertidores de D/A, etc...

La función de las terminales STRA y STRB, varía según el modo de operación del microcontrolador. En el modo single-chip, son líneas de control de los puertos B y C. En el modo expandido STRA permite diferenciar entre un dato y una dirección. STRB es la línea de lectura y escritura (Read and Write) R/W que indica cuando el microprocesador lee ó escribe en algún dispositivo externo.

4.6.4. Puerto E.

El puerto E está formado por 8 terminales, las cuales pueden ser utilizadas como 8 líneas de entrada de propósito general ó como canales de entrada para el convertidor analógico digital.

4.6.5. Puerto F.

El puerto F está formado por 8 bits de salida únicamente. En modo sigle chip el puerto F es utilizado como tal de pines 0 a 7. En modo expandido, los pines de este puerto F se emplean como direcciones de salida junto con el puerto B siendo las primeras 8 direcciones de procesamiento a 16 bits.

4.6.6. Puerto G.

El puerto G está formado por 8 bits de entrada o de salida. En modo expandido y test, las últimas 4 líneas (pines 4 a 7) se convierten en líneas de solo salida y son empleadas así para seleccionar algún chip externo al microprocesador.

4.7. MODOS DE DIRECCIONAMIENTO.

Estos modos se refieren a la forma en que se pueden especificar las instrucciones que se escribirán en el programa de diseño fuente para después obtener el programa objeto en lenguaje máquina que se ejecutara por el microprocesador.

4.8. INSTRUCCIONES.

Las instrucciones son comandos escritos en lenguaje abreviado que indican realizar alguna función en sí, por medio de ellos se ejecutan funciones de manejos de datos para ejecutarse como un programa integro propio del microprocesador. Para mayor referencia de los mismos se puede observar al final en la parte de los Anexos de esta tesis un set abreviado de instrucciones para lenguaje ensamblador IASM11.

5. DISEÑO DEL CONTROLADOR.

5.1. INTRODUCCIÓN GENERAL.

El diseño del controlador involucra el estudiar pausadamente los aspectos que intervienen en la interacción entre el medio ambiente y el cuerpo humano que es lo que se requiere mantener cómodo y sin afectar la salud. Estos factores se estudiaron anteriormente. Si un sistema no es cerrado, el sentido del proceso depende de la interacción del sistema con otros sistemas. El orden es una excepción en un mundo de continuos cambios, tal es el caso del medio ambiente. El sistema en realidad debe adaptarse al funcionamiento del cuerpo humano. Para lo cual el Control Difuso manifiesta dicha capacidad de adaptación entre ambos sistemas el ambiente y el cuerpo humano.

La idea principal es establecer un punto de ventilación óptimo de acuerdo a la temperatura ambiente para lo cual se requerirá de un teclado para el usuario para establecer dicho punto de temperatura por única vez. Se deberán utilizar dos sensores, en donde a partir de uno de ellos se medirá la temperatura dentro de la habitación para empezar a calcular la diferencia de error entre ambas temperaturas. El otro sensor medirá la temperatura externa al lugar para incorporar otra función al controlador que se realizará si así lo requiere el usuario para igualar la temperatura interna de la habitación a la temperatura externa al cuarto. Siendo estas funciones accesibles por medio del teclado de aclimatar a la temperatura dada por el usuario, aclimatar a la temperatura exterior, visualizar la temperatura externa al cuarto, visualizar la temperatura dentro del cuarto, visualizar la temperatura introducida por medio del teclado además de otra función para detener el funcionamiento del dispositivo.

El controlador también comandara el encendido y/o apagado del ventilador o calefactor de acuerdo lo designe así conveniente para evitar funcionamiento de inestabilidad en el cambio de empleo de dispositivo. El control de los dispositivos se llevará a cabo por medio de un circuito electrónico de disparo para los TRIAC'S dado que según las pruebas realizadas, comparando el generar un pulso de disparo por medio de software o generar dicho pulso por medio del circuito electrónico se observó una mejor sensibilidad de pulso de disparo en el caso del circuito electrónico y observándose que en caso de software la sensibilidad del dispositivo fue afectada durante el cambio de las variables del clima, se observó que al abrir y cerrar puertas de otros cuartos aledaños al cuarto respectivo con aire caliente en su interior, se afecto dicha sensibilidad muy drásticamente al observarse cambios bruscos del motor del ventilador ante estos hechos presentando inestabilidad del sistema, por lo cual se optó por emplear el circuito electrónico para disparar los TRIAC'S.

El ventilador y calefactor son del tipo común de venta, accesibles en costo y tamaño, todo ello para no incrementar el costo y difícil adquisición de un aparato especialmente diseñado para esta aplicación lo que aumentaría la dificultad de empleo de este dispositivo.

5.2. EL MÉTODO EMPLEADO.

Analizando las ventajas de los tipos de control que se pueden utilizar para realizar el proceso de regular la ventilación de una habitación atendiendo a la convección existente en el mismo, se determinó que el tipo de control a emplear sería el Control Fuzzy (Control Difuso) ya que un sistema como lo es el ambiente tiene un rango muy amplio de variables por lo que se requiere de un tipo de sistema que se adapte rápidamente a los cambios no determinados del medio ambiente, alterados por el cambio radical de la temperatura externa a los cuartos de ventilación o habitaciones donde se encuentren los ventiladores empleados, además, el tiempo que tardaría en calcularse las

funciones de transferencia a cada instante dado el cambio radical del ambiente en cuanto a temperatura, ocultamiento de sol, incremento de la ventilación externa, etc. sería muy extenso dando como resultado una expresión matemática muy complicada para procesar en componentes electrónicos de poco espacio y emplearía un mayor tiempo de computo, también, el modelo que se obtendría no determinaría fielmente el proceso de comportamiento del medio ambiente dadas las mencionadas fluctuaciones indeterminadas del medio ambiente en cada instante de tiempo.

CONTROL POR ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS

CONTROL DIFUSO

<i>VENTAJAS</i>	<i>DESVENTAJAS</i>	<i>VENTAJAS</i>	<i>DESVENTAJAS</i>
Maneja un buen nivel de control para sistemas lineales.	Existe desestabilidad para sistemas no lineales como el medio ambiente.	Maneja un buen nivel de control para sistemas no lineales.	Ofrece una solución que requiere de la experiencia de un operador humano.
No se requiere de cálculo basado en una rutina extra ya que solo se sustituyen valores en la expresión principal.	Requiere conocer la expresión matemática donde se involucren todas las variables del sistema.	No requiere de conocer la expresión matemática que involucra las variables del sistema.	Requiere de una rutina para realizar el cálculo respectivo de la máquina difusa.
El sistema no requiere de realizar pruebas para su correcto funcionamiento	El sistema es lento cuando se maneja para un sistema no lineal debido al cómputo numérico.	El sistema es rápido ya que existe una expresión matemática simple.	Requiere de realizar cierto número de pruebas además de correcciones para su funcionamiento.
Se obtiene una salida de valor exacto hacia la planta del sistema.	No registra un valor variable de salida, se basa en valores fijos dados por el diseñador.	Se obtiene un valor de salida variable que otorga un tipo de control "suave" sin permitir "golpes" entre pasos o niveles del controlador.	Se obtiene un valor de salida aproximado dependiendo de la sabiduría del operador experimentado.

FIGURA 36b. DIFERENCIAS ENTRE CONTROL POR ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS Y CONTROL DIFUSO

Analizando las ventajas y desventajas de los tipos de control se observó un sistema que se basaría en el control difuso ya que en el caso del ambiente se requiere de un controlador que se adapte con rapidez a los cambios de las variables del clima y las desventajas del mismo pueden ser resueltas con simuladores, experiencias de un operador experimentado y la ayuda de un microcontrolador para el sistema.

Se planteó el utilizar para la implementación de los algoritmos de control difuso, el uso de un programa de computo llamado FUDGE de MOTOROLA el cual permite introducir las reglas de evaluación, la simulación de las mismas reglas en el programa y entre sus ventajas se encuentran el obtener un código en formato .ASM propio de un microprocesador del tipo 68HC11F1 de la firma Motorola, mismo que se empleó para almacenar el programa en lenguaje de computadora, empleando para ello las herramientas de AVSIM11, IASM11 y el pcbug11 de MOTOROLA.

La tarjeta electrónica empleada del con el microprocesador MC68HC11F1 pertenece a una tarjeta del tipo FACIL_11B diseñada en la Facultad de Ingeniería UNAM por el M.I. Antonio Salvá Calleja, la cual contiene una memoria EPROM que permite una ejecución del programa interno sin requerimiento de una computadora dado que el programa requerido se almacena en esta memoria. Los elementos extras se explican en la sección de microcontroladores. Se empleó esta tarjeta con el fin de realizar un diseño primeramente en prototipo para posteriormente actualizar el circuito a un elemento electrónico mas avanzado dado el continuo y actual cambio en la tecnología de circuitos integrados, tal es el caso de un PIC, PLC, un circuito lógico empleando PLD con el programa Max Plus, o un microprocesador mas avanzado o de menor tamaño de tecnología actual. Ya que aunque la lógica de funcionamiento es la misma, el modo de implementarse en un dispositivo diferente al empleado en esta tesis, así como las herramientas que se emplearán para ello difieren en su forma y modo, más no en su esencia y funcionamiento.

Mayores características relacionadas con la tarjeta FACIL_11B pueden observarse en el anexo correspondiente de esta Tesis.



FIGURA 37a. TARJETA FACIL_11B Diseñada en la Facultad de Ingeniería UNAM por el M.I. Antonio Salvá Calleja.

El circuito actuador primario de los comandos del microprocesador corresponde a un circuito disparador basado en dos TRIAC'S conectados a un ventilador de tipo comercial y a un calefactor para poder obtener una regulación específica para la tarea de regular la temperatura ambiente en un cuarto continuamente.

5.3. ASPECTOS A CONSIDERAR.

1.- La variación constante de temperatura debido a los aspectos de Radiación, convección y evaporación observando que la circulación de aire en un cuarto varía de acuerdo al lugar y la temperatura del aire del mismo es afectado por las cosas (generadores naturales y artificiales de calor), como son los colores, (por efecto de radiación un cuerpo negro almacena mas calor que un cuerpo blanco) y materiales (un material de poliéster almacena mas calor que un material de algodón) al igual que la humedad que se encuentren en el lugar afectada por la variación del clima externos y efectos de evaporación del agua en el clima ambiental, además de la evaporación de sudor y de los pulmones de los individuos que se encuentren usando el prototipo de ventilación y aclimatación.

2.- El efecto de variación de la temperatura “sentida” por una persona dada la actividad que realiza en determinado momento como lo es el trabajo excesivo o la transpiración afectada por estrés o preocupación aguda que lleven a provocar una sudoración excesiva, requiriendo de una mayor ventilación para desprenderse del calor corporal generado.

3.- El efecto que causa el movimiento de aire en una zona donde se encuentre un ventilador y aclimatador común digamos en un ambiente doméstico en comparación de un ambiente en el patio de una casa o un cuarto más grande como lo es un salón de fiestas, una oficina gubernamental, etc. En cuyo caso se requerirán mas ventiladores en el mismo circuito o mayores y mejores ventiladores en cuanto a su capacidad de ventilación se refiere (coeficiente de ventilación). Otra opción sería emplear varios circuitos individuales dentro de un espacio para una mejor regulación por zonas de estancia.

4.- Es importante hacer notar que la temperatura va ligada a la humedad pero una ventilación óptima regula la convección-conducción de un lugar y consecuentemente de la temperatura en ambientes templados. Así es como la humedad se mantiene acorde a la temperatura afectada por la ventilación realizada dada la estrecha relación que existe entre temperatura y humedad.

5.- En ambientes excesivamente húmedos el cuerpo se desprende del calor en un 20% por medio de la convección-conducción y en un 80% por evaporación, por lo cual la ventilación acelera el proceso de evaporación “secando” el sudor de la piel más rápidamente y permitiendo una mejor pérdida de calor por parte del cuerpo humano. Además la humedad del viento en este caso es afectada directamente por la acción del ventilador, “secando” algunas partículas de agua durante el paso del aire por el ventilador disminuyendo así la temperatura de un lugar al disminuir la humedad.

6.- Una vez comenzada la ventilación y transcurrido un cierto tiempo, la ventilación de un lugar en clima templado acelera las pérdidas de calor por medio de la convección-conducción, provocando una mejor ventilación que en conjunto con ventanas abiertas y puertas en zonas de corriente de aire causan que exista un mayor flujo de aire por aceleración de la convección normal del aire, requiriendo en tal caso disminuirse automáticamente este flujo para no provocar una sobre-ventilación y “efecto de frío”.

7.- El calefactor calentará el aire de una casa o habitación con la consecuente subida de temperatura y correspondiente graduación de humedad descrita por la relación entre humedad y temperatura. Dicho calefactor deberá ser capaz de otorgar calor según el cuarto que se requiera esto de acuerdo a la potencia del calefactor y dado que se requerirá de un circuito similar al empleado para el ventilador, se empleará el mismo circuito actuador con la modificación de agregar un circuito de disparo final “MOC” manejado por el propio microcontrolador.

8.- Al dispositivo final se le deberá agregar un modo de detener activamente el funcionamiento del aparato para cualquier modificación requerida.

9.- Además se le deberá agregar un modo de funcionamiento de comodidad para aclimatar a un individuo que se encuentra en una atmósfera propia y que se dirige a salir de dicha temperatura para ingresar a otra temperatura considerablemente diferente en grado mayor o menor a la temperatura inicial donde se encuentra el individuo. Esta función permite aclimatar la temperatura inicial del usuario a la temperatura exterior de una forma “suave”, es decir, sin cambios bruscos de temperatura esto con la finalidad de disminuir el riesgo de enfermedad o alteración corporal por cambio brusco de temperatura, y dado que debe tenerse cuidado de los puntos extremos de temperatura inferior y superior a la normal objetivo también inicial de esta tesis.

10.- El dispositivo final deberá contar con medidas de seguridad para no provocar afectación física-corporal a los individuos que utilicen el dispositivo en cuestión. Para ello se tomarán medidas como aislante total de la etapa de control, hacia la tapa de potencia, aislante perfecto de cables empleados con calibre indicado y especificaciones del circuito como son Potencia Máxima, Voltaje y Corriente, instrucciones de uso, etc.

5.4. DIAGRAMA GENERAL.

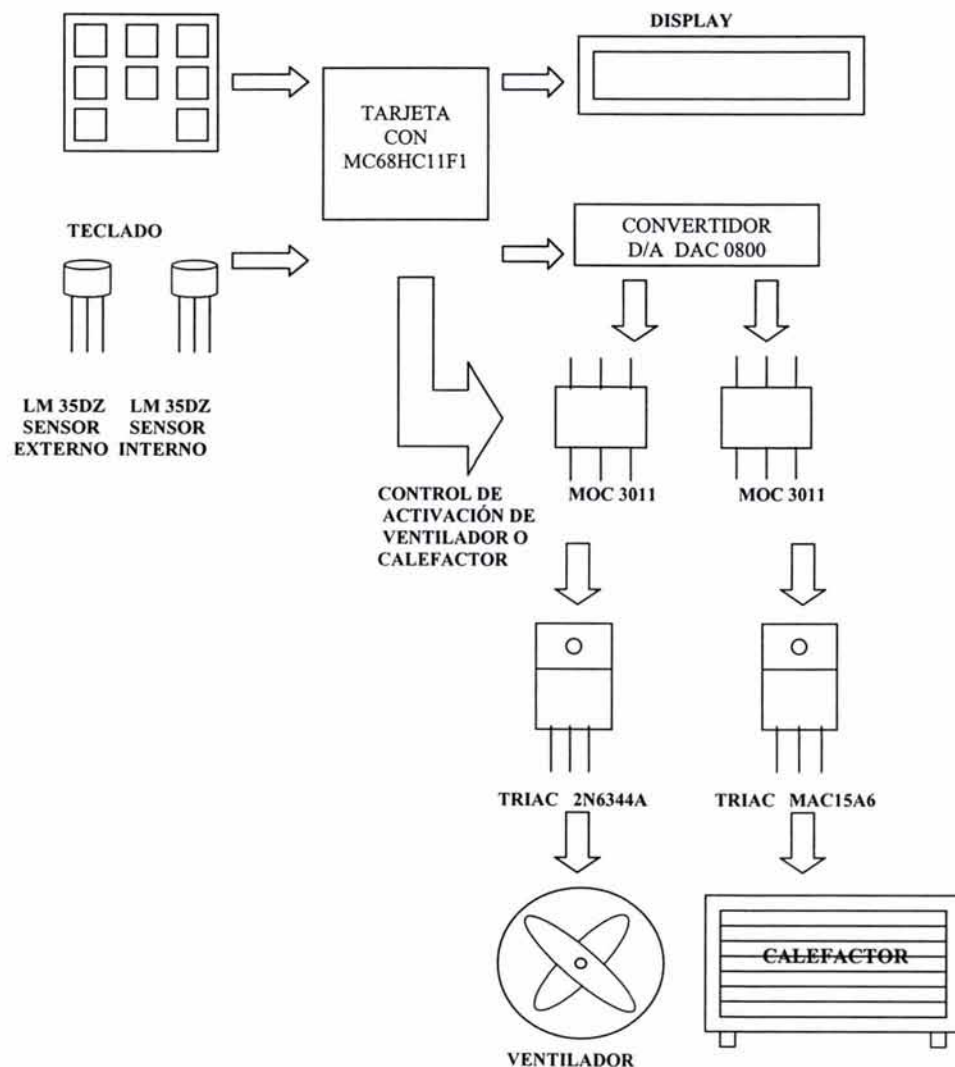
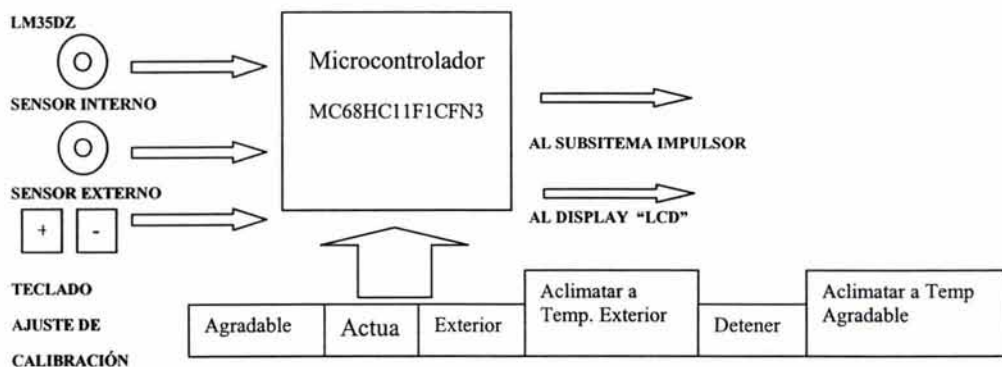


FIGURA 37b. DIAGRAMA GENERAL DE FUNCIONAMIENTO

5.5. SUBSISTEMA DE CONTROL.

El subsistema de control se compone de las siguientes partes; la unidad procesadora de información (convertidor A/D) de las variables de entrada provenientes de los sensores interno y externo al cuarto, el ajuste de calibración del dispositivo vía teclado así como también el programa para ajustar valores hexadecimales a decimales para su posterior aplicación, el programa difuso de ejecución para conformar los conjuntos de entrada y salida difusos, además de las reglas de evaluación para la toma de decisiones, el programa de conversión de valores hexadecimales a decimales de las señales de los sensores y el programa para desplegar las funciones propias en el display LCD. Además de un método de temporización para no entorpecer cada función de tecla requerida y realizada por el microcontrolador.



TECLADO PARA DESPLEGADO DE TEMPERATURA:

AGRADABLE, ACTUAL, EXTERIOR

ACLIMATAR: A TEMPERATURA EXTERIOR, Y A TEMPERATURA AGRADABLE

DETENER FUNCIONAMIENTO

AUMENTAR Y/O DISMINUIR TEMP. AGRADABLE EN AJUSTE DE CALIBRACIÓN

FIGURA 38. DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO SUBSISTEMA DE CONTROL

5.5.1. Principio de operación.

El funcionamiento del sistema consiste en emplear un controlador diseñado para regular la operación de un calefactor y un ventilador.

El sistema se calibra inicialmente automáticamente por medio del programa interno del controlador graduándose la temperatura agradable a 20°C siendo esta la temperatura considerada de comodidad humana a la que se requerirá aclimatar el cuarto o habitación para comodidad en invierno donde se ponga a funcionar este dispositivo. A partir de este valor se puede aumentar o disminuir dicha temperatura con dos de las teclas de un teclado simbólico que haciéndolo amigable con el usuario, su funcionamiento es similar a un tipo de control de volumen digital clásico de un televisor, en donde una tecla sirve para aumentar la temperatura requerida y otra tecla sirve para disminuir dicha temperatura requerida.

El sistema consta de dos sensores uno interno en la habitación y otro externo a la misma. El sensor interno envía una señal de voltaje correspondiente de lectura de la temperatura dentro del cuarto o habitación, mientras que el sensor externo envía la señal correspondiente a la temperatura externa al cuarto. Estas señales se acondicionan y envían al microcontrolador vía el puerto E para digitalizarlas. La temperatura del sensor interno es la temperatura actual dentro del cuarto o habitación. En el microcontrolador se obtiene la diferencia numérica entre la Temperatura Actual TACTUAL y la temperatura Requerida o temperatura objetivo TOBJETIVO o Temperatura agradable introducida como se mencionó por el teclado para determinar el Error entre ambas lecturas. A este Error se le denominará ERROR DE INSTANTE ACTUAL. El tiempo de toma de error aproximado es de menos de 1 segundo.

La lectura de ERROR INSTANTE ACTUAL calculado se resta a la lectura de ERROR DE INSTANTE ANTERIOR que para el primer cálculo, este último error vale cero, para determinar así la DERIVADA DEL ERROR. (Es decir que tan rápido cambió el error actual en relación al error anterior). El cálculo de la derivada se realiza en un mismo lapso de tiempo por lo que la diferencia entre un cálculo y otro es constante. Esto implica que solo se utilice la diferencia entre errores para calcular la derivada entre ambos valores.

Con los valores de ERROR DE INSTANTE ACTUAL y DERIVADA DEL ERROR se determinan por medio de los conjuntos difusos internos en el programa del microcontrolador en que grado pertenecen estas lecturas a los conjuntos (SE REALIZA LA DIFUZZIÓN) es decir si el error es GRANDE NEGATIVO, MEDIANO NEGATIVO, CHICO NEGATIVO, ERROR CERO, CHICO POSITIVO, MEDIANO POSITIVO O GRANDE POSITIVO. Al igual que para la derivada en cuyo caso se observa que la derivada puede ser POSITIVA, CERO O NEGATIVA. El significado de cada conjunto demuestra que:

Para el error GRANDE POSITIVO, la temperatura ambiental es mucho mayor que la temperatura agradable u objetivo. Para un error MEDIANO POSITIVO, la temperatura ambiental es mayor a la temperatura agradable u objetivo, aunque en menor grado al del error grande positivo. Para un ERROR CHICO POSITIVO, significa que la temperatura ambiente es un poco mayor a la temperatura agradable u objetivo. Para un ERROR CERO, implica que existe un equilibrio entre ambas temperaturas. Para un ERROR CHICO NEGATIVO la temperatura ambiental es menor a la temperatura agradable u objetivo, aunque en menor grado que para un ERROR MEDIANO NEGATIVO. Para un ERROR GRANDE NEGATIVO, implica que la temperatura ambiental es mucho menor en un alto grado que la temperatura agradable u objetivo.

Respecto a la Derivada una DERIVADA POSITIVA implica que el error actual es mayor que el error anterior lo que significa que la temperatura ambiental esta aumentando es decir el ambiente se esta calentando en el caso de que se esté ventilando o quiere decir que el ambiente se está enfriando en el caso de que se esté empleando el calefactor. Para una DERIVADA CERO implica equilibrio en el cambio de temperaturas y para una DERIVADA NEGATIVA significa que el error actual es menor al error anterior, es decir que se esta alcanzando la temperatura del confort humano por medio de la circulación del aire o la calefacción según corresponda.

La entrada a la máquina de inferencia difusa es por medio de las variables de ERROR DE INSTANTE ACTUAL y DERIVADA DE ERROR.

Los valores de ERROR y DERIVADA se “difunden” a través de los conjuntos empleados. Obteniendo así sus valores de pertenencia a cada conjunto y los correspondientes valores difusos. En un solo vector de entrada al sistema de evaluación de reglas.

Los conjuntos empleados son los siguientes:

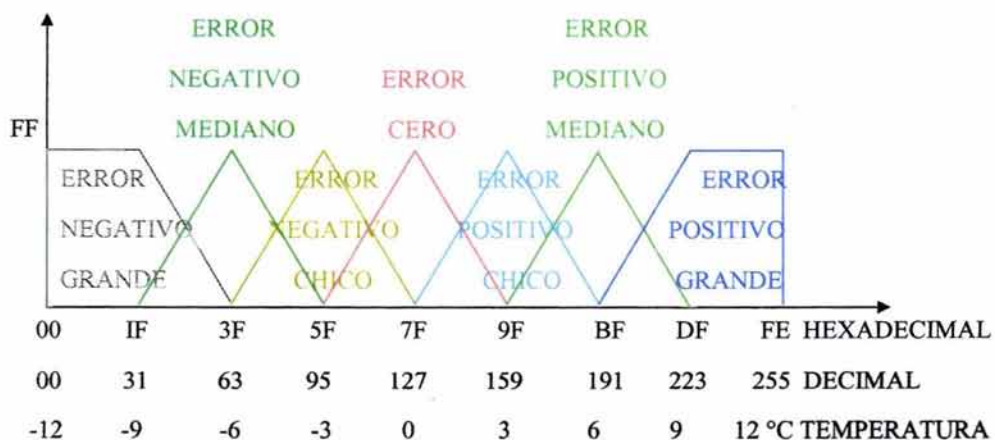


FIGURA 39. CONJUNTOS DIFUSOS EMPLEADOS PARA ENTRADA DE ERROR.

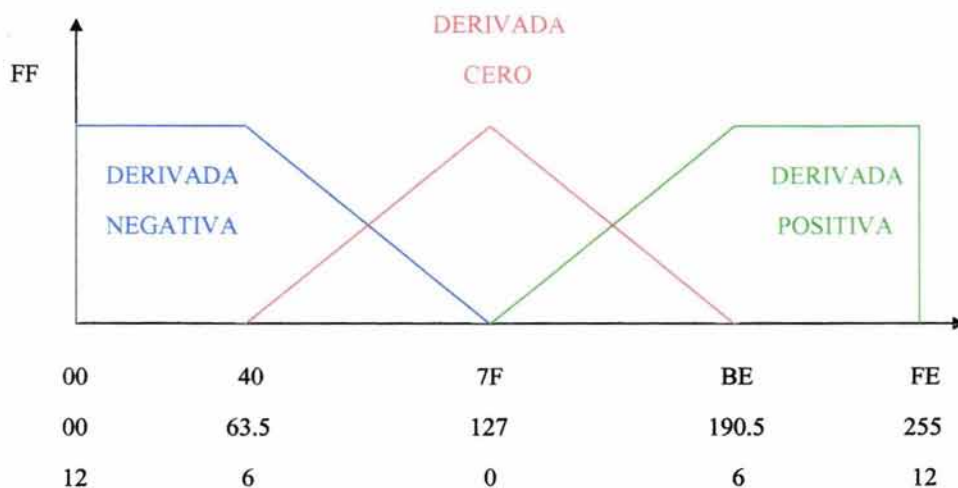


FIGURA 40. CONJUNTOS DIFUSOS EMPLEADOS PARA ENTRADA DE DERIVADA DE ERROR.

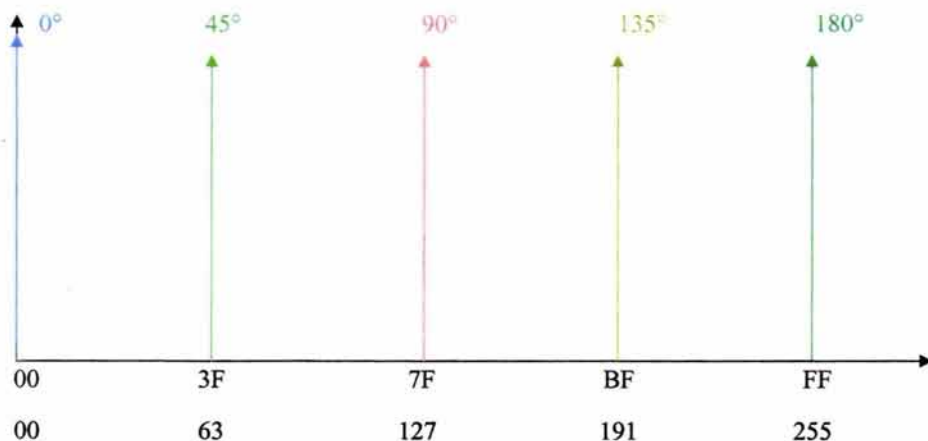


FIGURA 41a. CONJUNTOS DIFUSOS DE SALIDA ÁNGULO DE DISPARO PARA TRIAC.

Los valores de pertenencia son de tal forma que no nada mas pertenecen a un solo conjunto sino a varios de ellos con lo que se permite un tipo de control “suave” y se mejoran los pasos de acción que se llevaran a cabo.

Los valores de pertenencia ya difusos se evalúan por medio de REGLAS LÓGICAS DIFUSAS almacenadas en el microcontrolador, todo ello en un solo vector de entrada, esto es el proceso difuso ya que recordando se realiza con valores difusos.

		CALEFACTOR T. AGRADABLE > T. ACTUAL NEGATIVO				VENTILADOR T. AGRADABLE < T. ACTUAL POSITIVO		
ERROR		GRANDE	MEDIANO	CHICO	CERO	CHICO	MEDIANO	GRANDE
DERIVADA								
NEGATIVA		45°	90°	135°	180°	135°	90°	45°
CERO		90°	135°	135°	180°	135°	135°	90°
POSITIVA		0°	45°	90°	135°	90°	45°	0°

FIGURA 41b. REGLAS LÓGICAS DE EVALUACIÓN DIFUSAS.

Se obtienen así valores de salida difusos en donde se observa un determinado valor que debe aplicarse a otros conjuntos difusos de salida para poder realizar el proceso inverso a la difusión (DESDIFUZZION) en este proceso se emplean métodos de conversión para obtener “singltons” (valores únicos o pulsos dentro del rango permitido de salida) para ello los valores de salida se introducen en los conjuntos como valores de pertenencia y se obtienen así valores “nitidos” para obtener así la salida “crisp” o “real”, es decir un valor de voltaje variable y único en forma digital,

mismos que se envían vía el puerto S1 de salida del microcontrolador en modo expandido. Este proceso se repite y se obtienen valores que oscilan según el funcionamiento. Con valores digitales de salida comprendidos entre 0 a 5 volts que serán la señal de entrada al sistema impulsor.

Control de activación del ventilador o calefactor

Para mantener el control de activación de ventilación o calefacción respectiva las “tierras” de los leds internos de los MOC’S del lado del circuito de control se conectan a los pines del puerto D del microcontrolador empleado para mandar la señal respectiva de tierra de activación del dispositivo requerido según que el ERROR INSTANTE ACTUAL sea GRANDE , MEDIANO O PEQUEÑO Y POSITIVO, NEGATIVO O CERO RESPECTIVAMENTE.

5.5.2. Sensores.

Los sensores empleados se tratan de 2 elementos de silicio correspondientes a la firma National Semiconductor el integrado LM35DZ cuyo rango de operación de temperatura abarca de los 0°C a los 100°C. La proporción de incremento del sensor es de 10 mV por cada grado centígrado medido. El rango de la fuente de alimentación del circuito integrado es de 4 a 30V. La corriente de salida máxima es de 10mA. La señal de salida de este sensor es del tipo analógico.

5.5.3. Ajuste de calibración.

Es necesario emplear un circuito amplificador de la señal proveniente del sensor para poder obtener el valor de salida requerido además de poder calibrar así el sensor para obtener la señal de salida entre un rango de 0 a 5 volts, esto último con el objetivo único de homogenizar la señal de salida de los sensores a la que recibirá el microcontrolador al igual de requerir emplear una sola fuente de voltaje para todo el sistema.

La señal proveniente de cada sensor se desacopla en impedancia por medio de una resistencia de 2K y es introducida a dos amplificadores operacionales en configuración de seguidor no inversor simultáneamente, las señales de cada amplificador son introducidas a dos amplificadores sumadores no inversores con ganancia de 5 para obtener finalmente la señal acondicionada que se enviará al microcontrolador vía el puerto E para digitalizar dichas señales.

Por lo anterior se empleó un amplificador operacional que trabaja con una sola fuente de voltaje y dadas su características se eligió el LM324 de bajo nivel de potencia para cumplir con tal tarea dado que existen 4 amplificadores operacionales en cada integrado y su nivel de potencia requerida para su funcionamiento es mínimo.

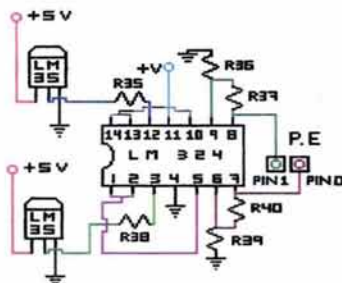


FIGURA 42a. CIRCUITO ACONDICIONADOR DE SEÑAL PARA SENSORES.

5.5.4. Teclado.

El teclado empleado para la realización del dispositivo se implementó en base a interruptores de contacto que llevan a cero el voltaje existente en el Puerto A del microcontrolador consta de ocho interruptores de contacto normalmente abiertos conectados entre cada pin del Puerto A y tierra. Las resistencias para cada pin que regulan la corriente de caída para cada pin están conectadas en la tarjeta del microcontrolador. Dentro del programa se hace una llamada a puerto para determinar el pin que fue llevado a tierra y por medio del programa se realiza un complemento a uno cambiando la lógica de funcionamiento adquirida a partir de la lectura del estado del teclado con ello si se presionó por ejemplo el pin0 del Puerto A el número que resulta es 1111110 con complemento a 1 resulta el número 00000001.

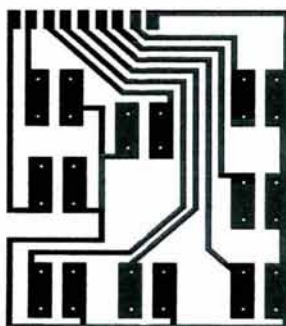


FIGURA 42b. DISEÑO EN POSITIVO DE TECLADO PARA IMPRESO.



FIGURA 43. CARÁTULA DE TECLADO FUNCIONES:

DESPLEGAR TEMPERTAURA AGRADABLE, ACTUAL Y EXTERIOR.

AMBIENTAR A GUSTO (EMPLEAR T. AGRADABLE Y T. ACTUAL).

AMBIENTAR A EXTERIOR (EMPLEAR T. EXTERIOR Y T. ACTUAL).

AUMENTAR O DISMINUIR TEMPERATURA AGRADABLE POR EL USUARIO.

DETENER FUNCIONAMIENTO.

5.5.5. Display.

Para poder desplegar los textos referentes al empleo actual del dispositivo se empleó un display de 16 * 2 caracteres que se encarga de desplegar en la pantalla el texto que se indica desplegar. El voltaje de alimentación es de 5 V. La pantalla puede ser iluminada por medio de un led interno conectado a la tarjeta con espacio destinado para ello. Los datos y comandos son enviados vía el Puerto C del microcontrolador. El pin R/W (lectura / escritura) se conecta a tierra para permitir solo escritura en el LCD vía J28, La señal de habilitación y RS del LCD se encuentra activada cuando se hace referencia a la dirección \$1A00 para comandos y a la dirección \$1A01 para seleccionar registro de datos, todo ello en modo expandido.

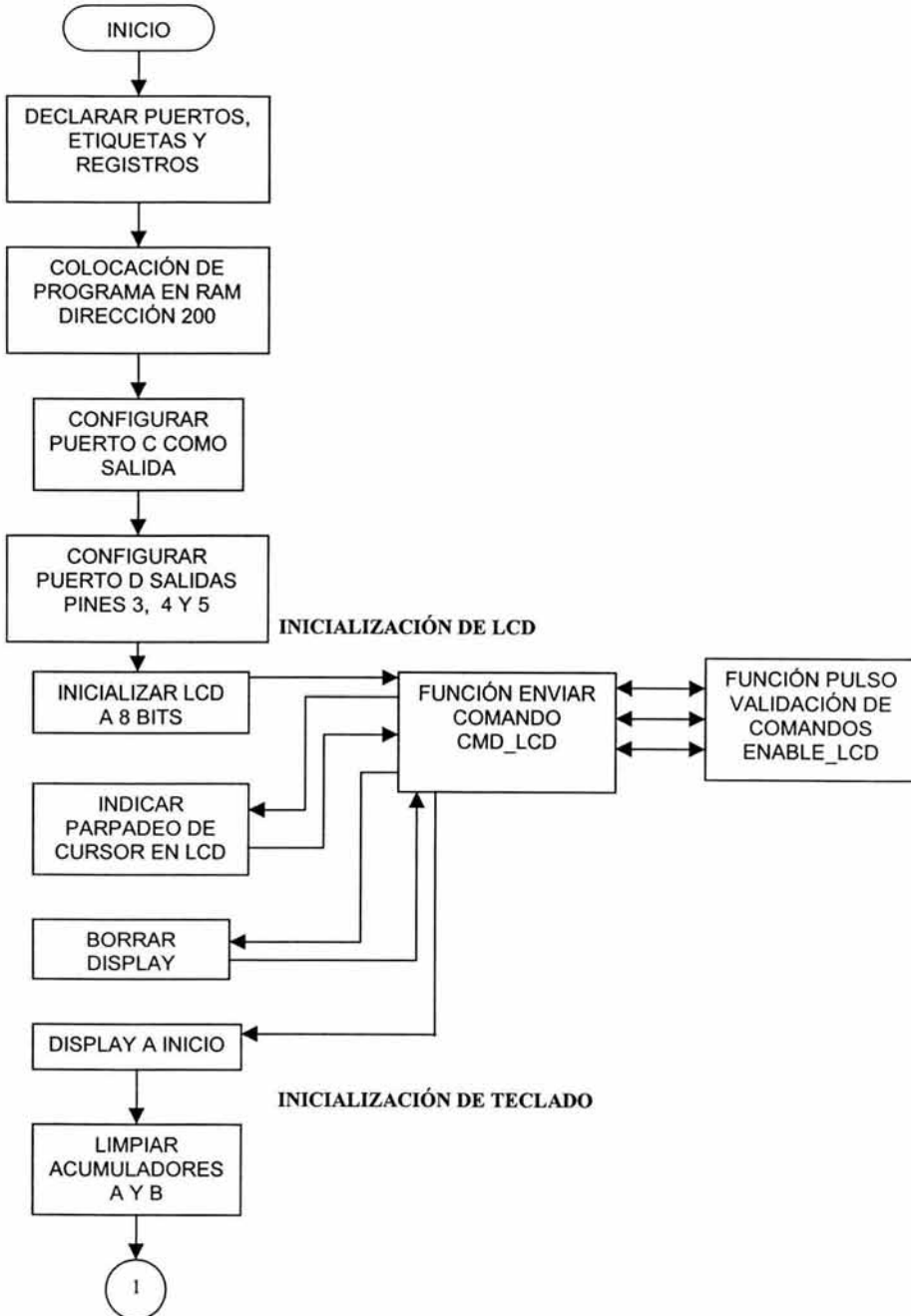
El proceso para mandar datos al lcd es el siguiente:

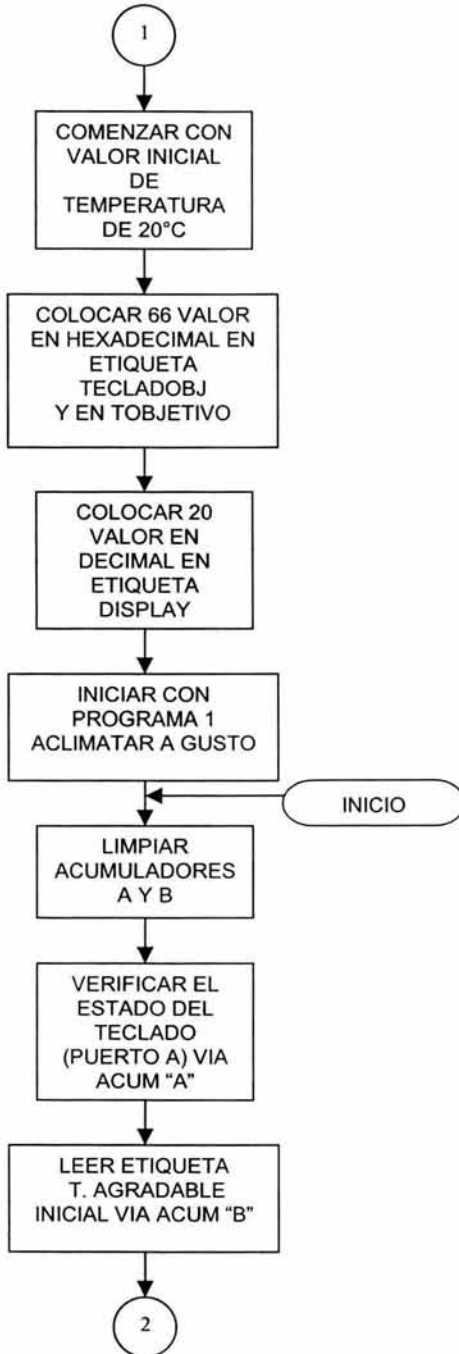
- 1.- La señal E (habilitación) se encuentra a cero antes de cualquier operación.
- 2.- Se coloca $R_s = 1$ esto indica al LCD que se usará registro de datos .
- 3.- $R/W = 0$ y se encuentra conectado a tierra ya que solo se empleará el LCD para imprimir datos.
- 4.- Se sitúa el carácter a imprimir en el bus de datos del LCD es decir vía el Puerto C.
- 5.- Se coloca $E=1$.
- 6.- Se coloca $E=0$.
- 8.- El carácter es impreso en el LCD.

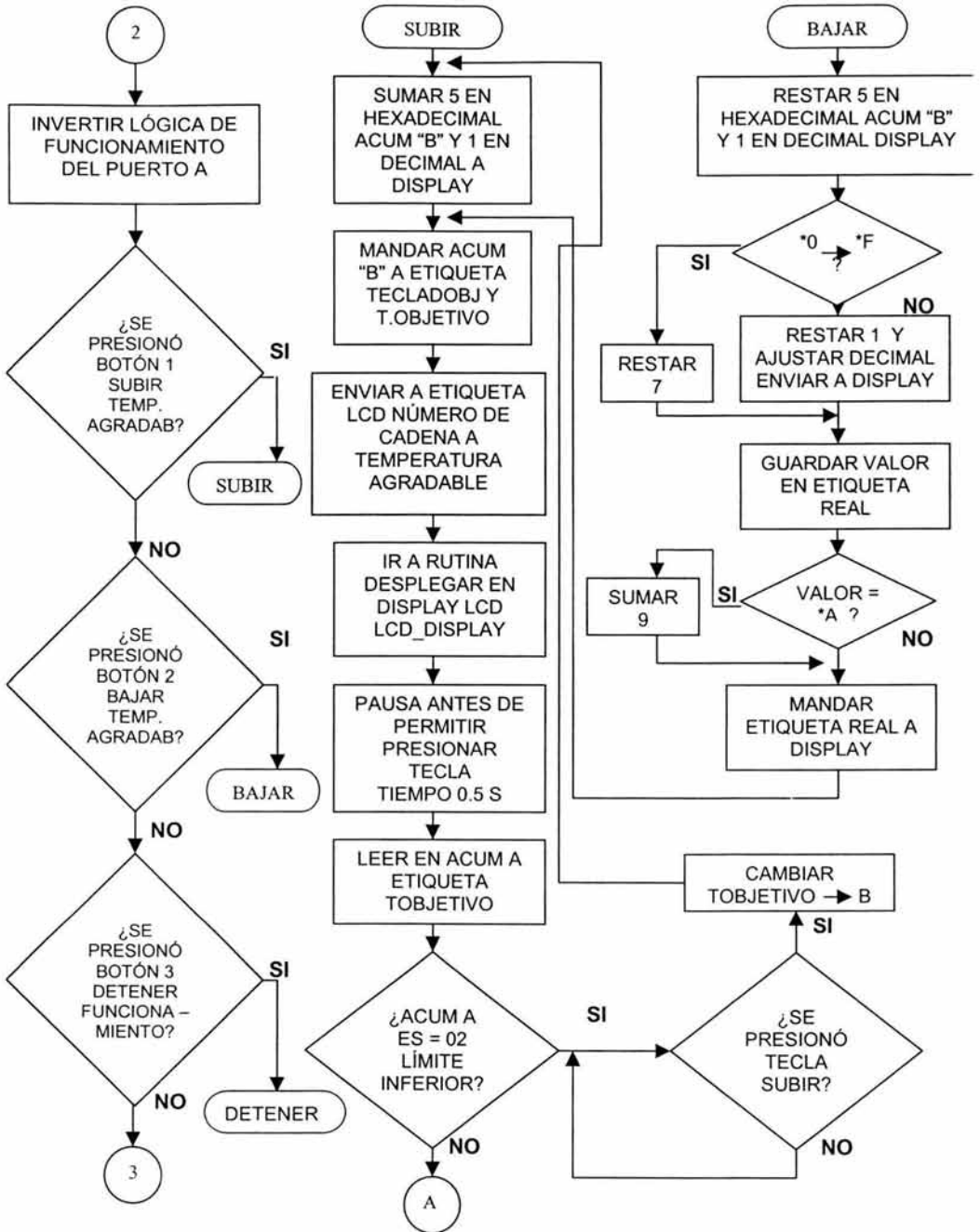
Para enviar comandos del microcontrolador al LCD solo cambia que:

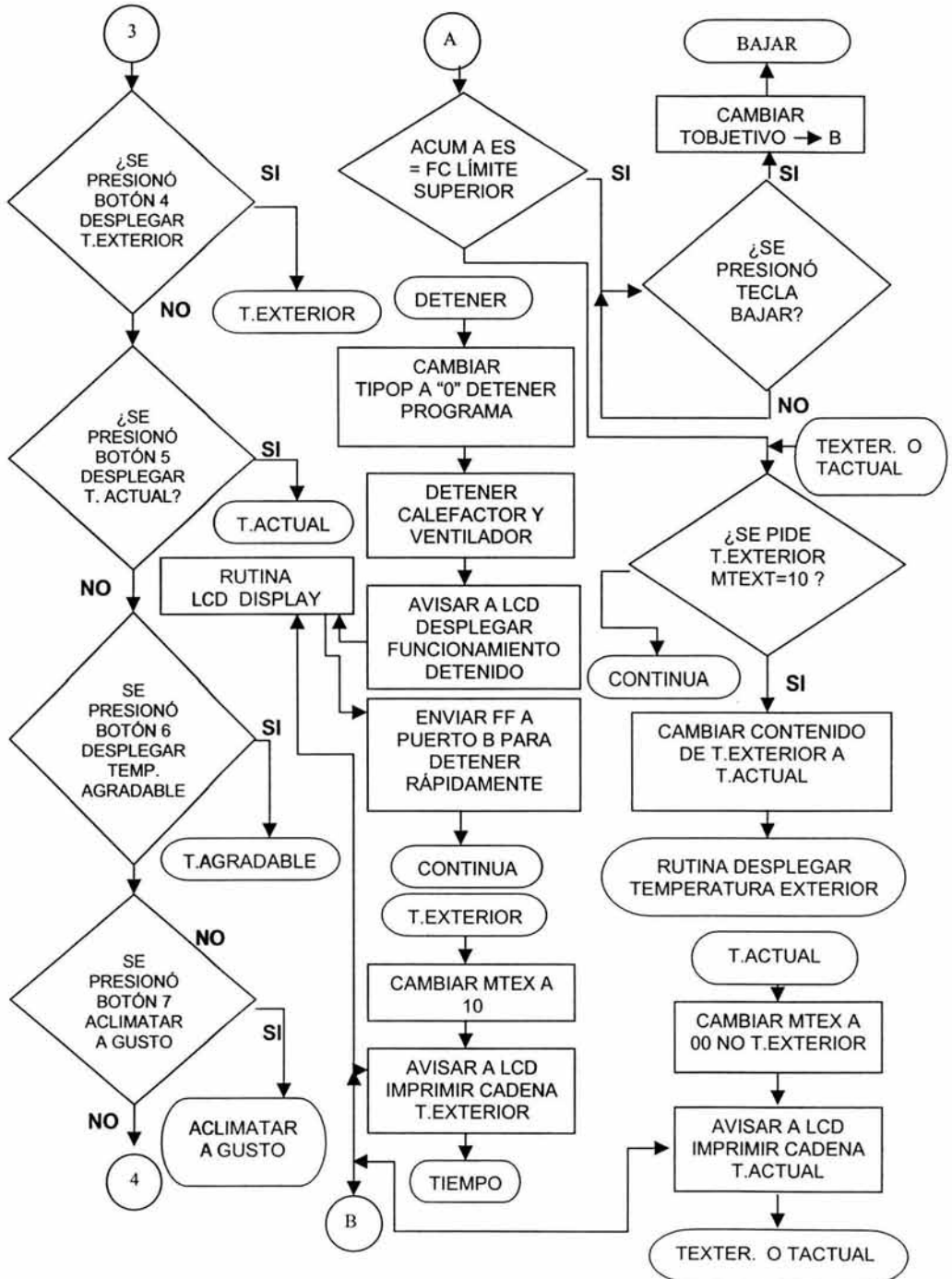
- 1.- $R_s = 0$ indicando al LCD se empleará registro de control y permanecerá así mientras se envían comandos en donde este comando se manda al LCD vía el puerto C del microcontrolador.

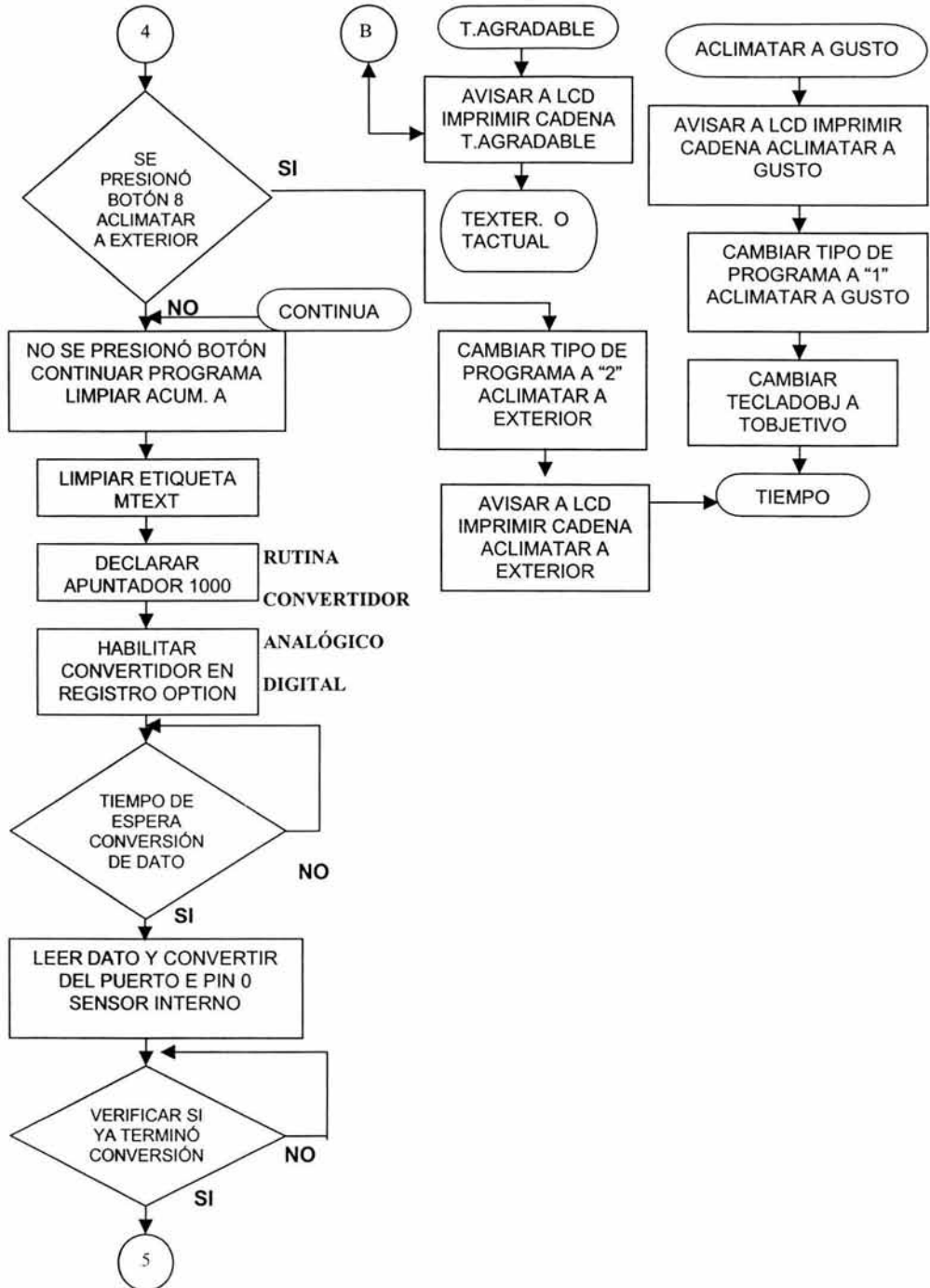
5.5.6. ALGORITMO DE CONTROL.

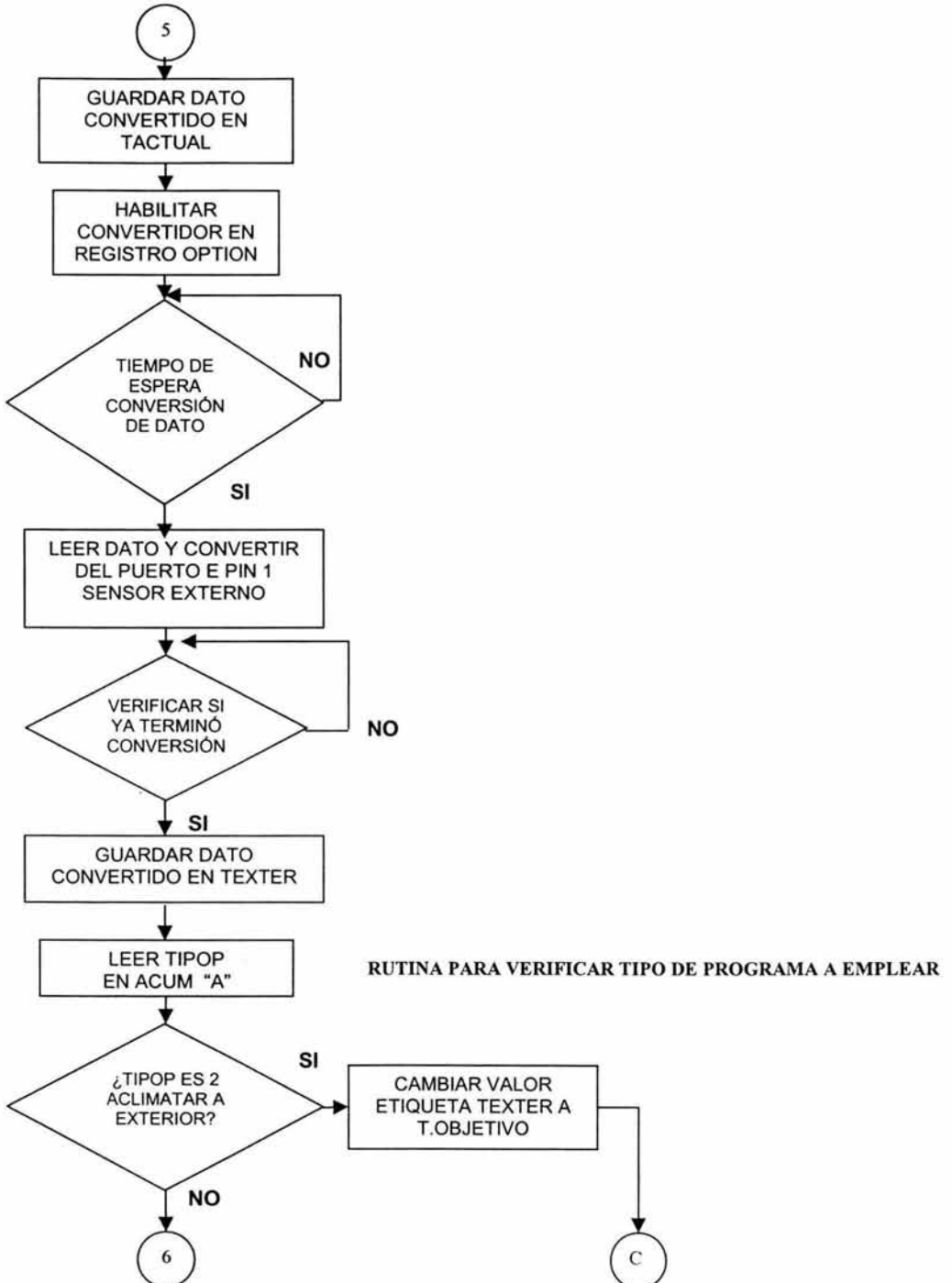


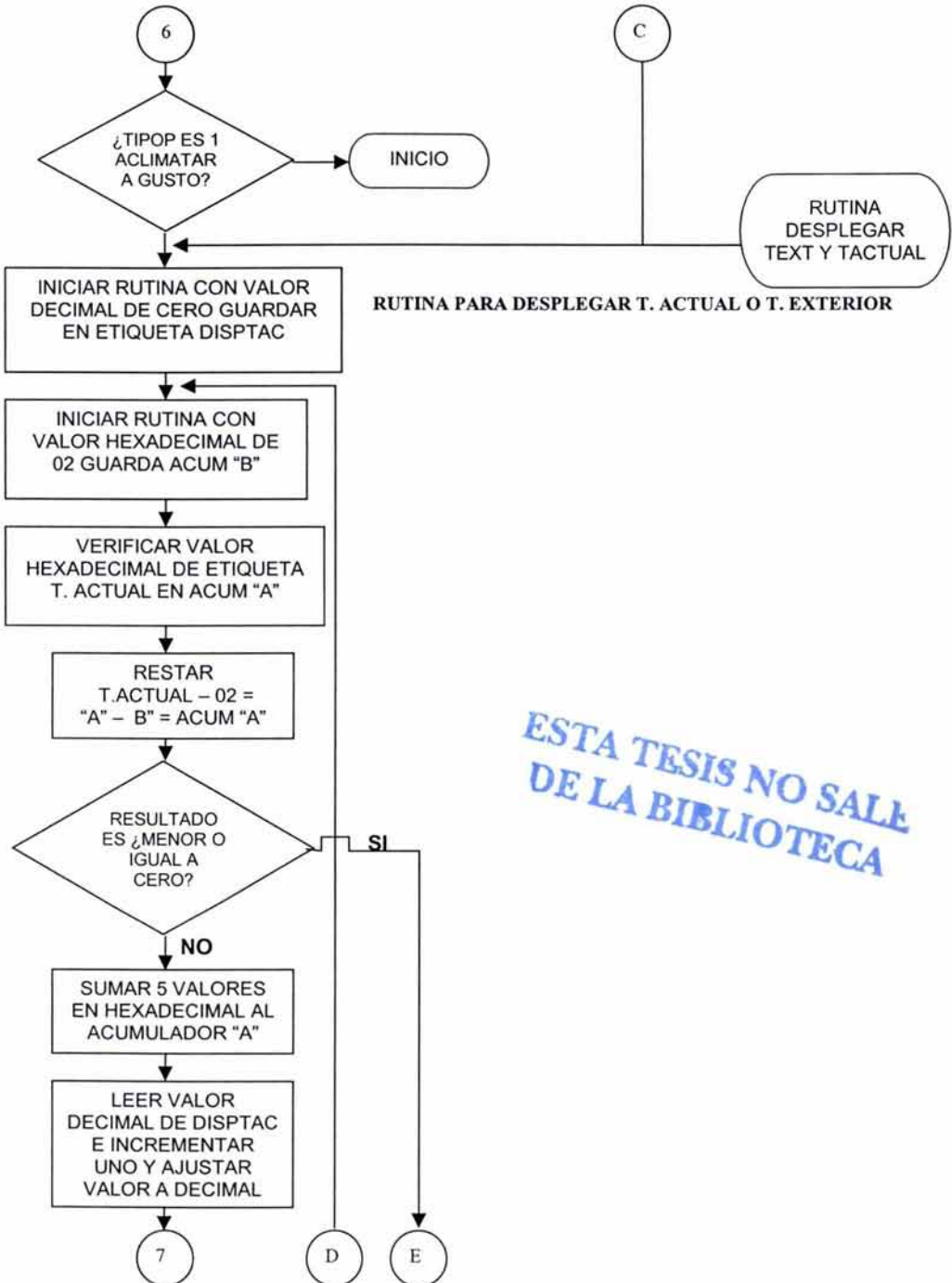


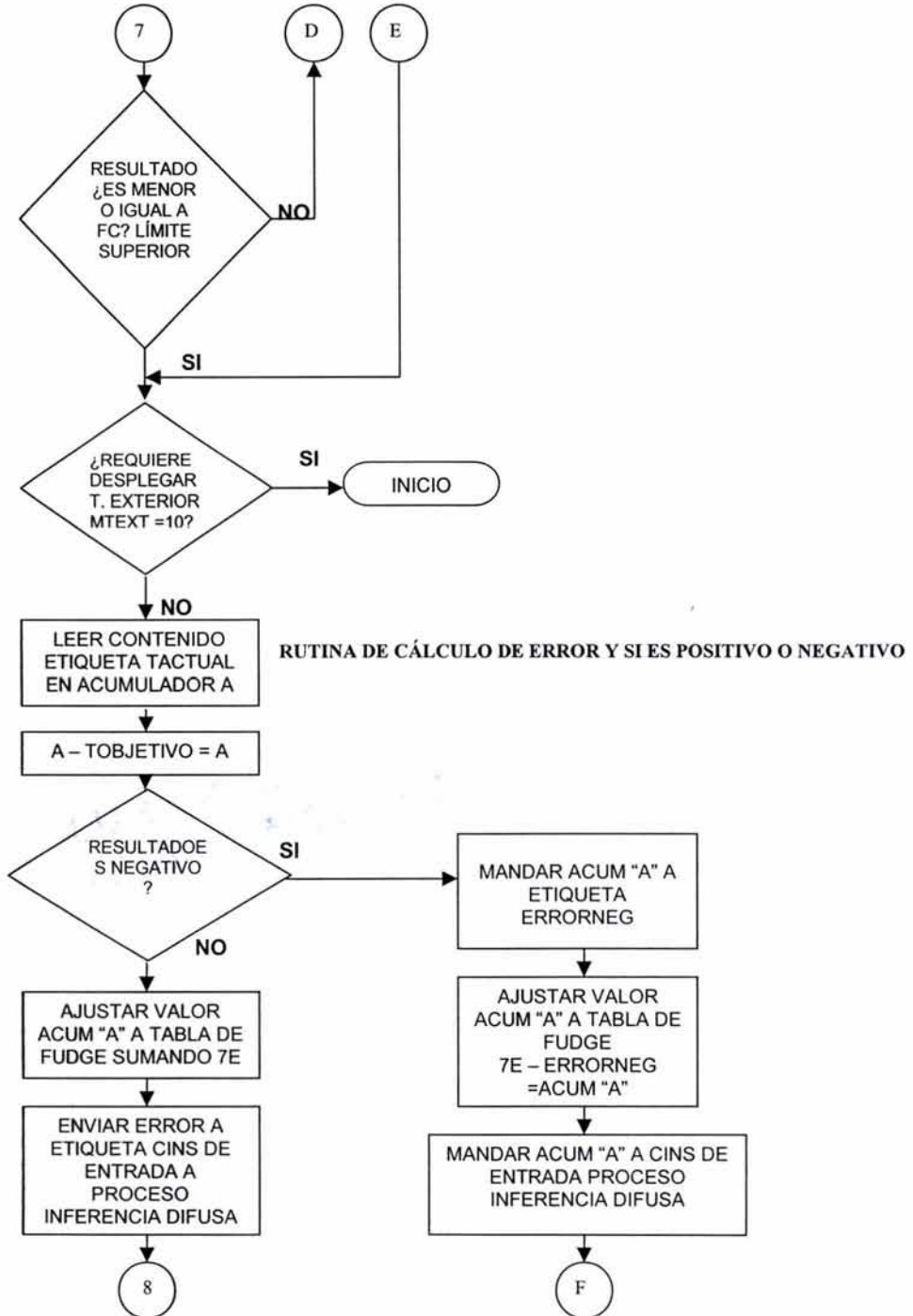


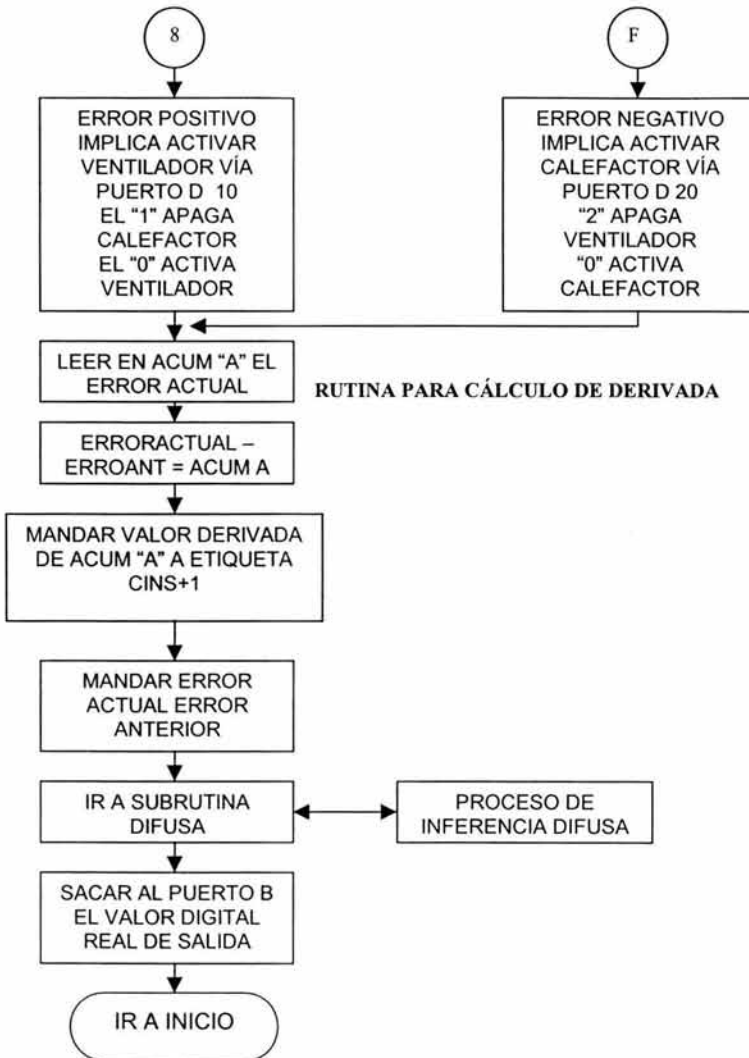






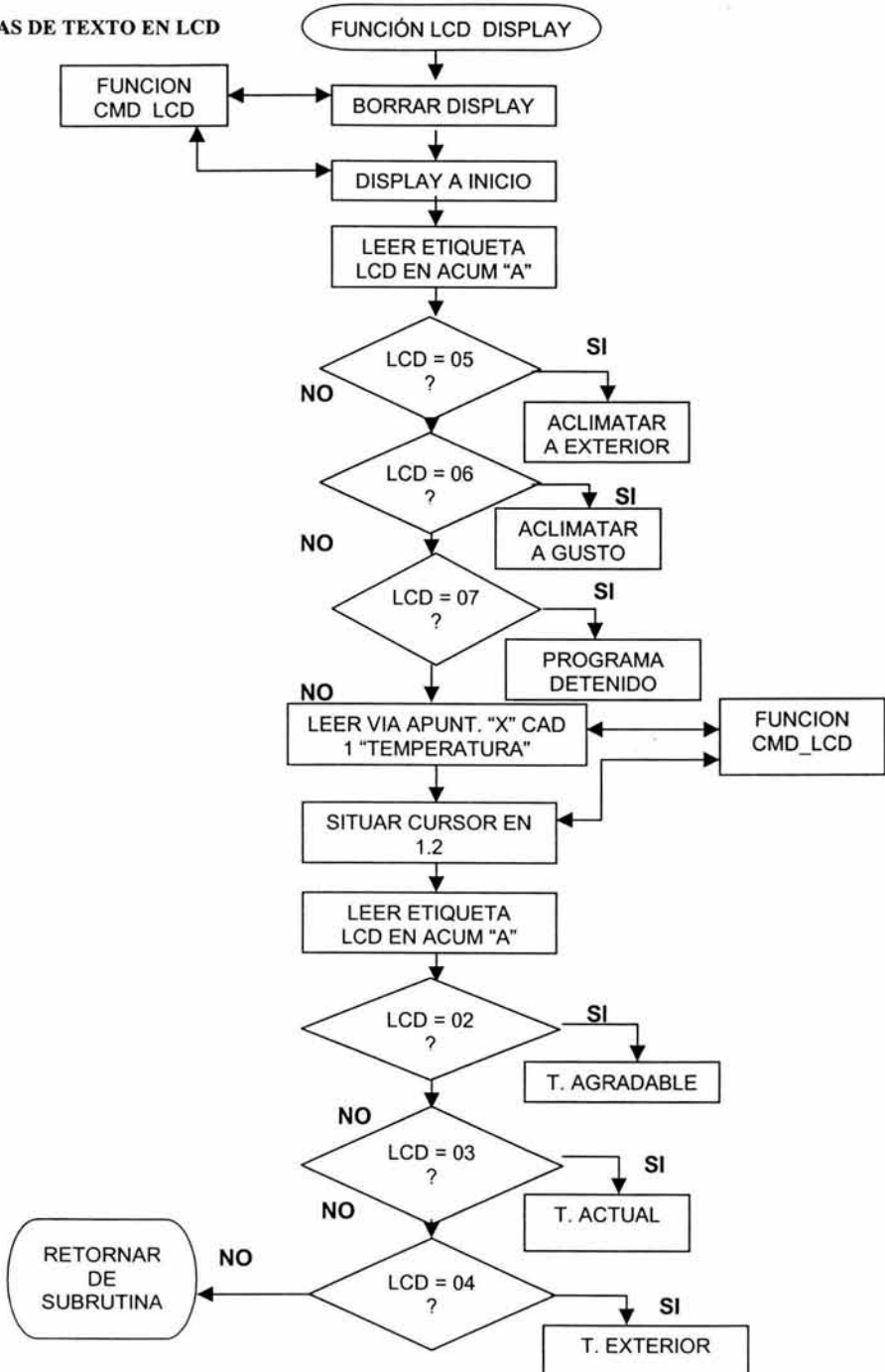


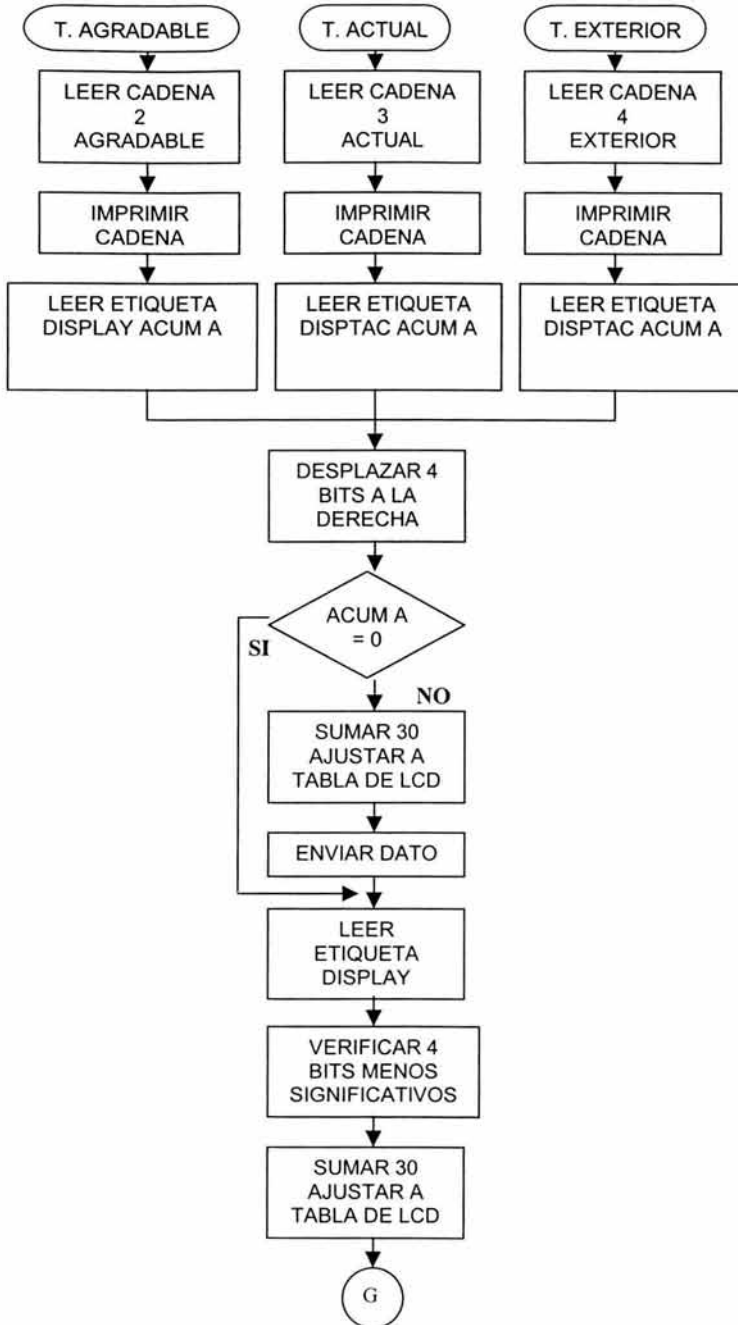


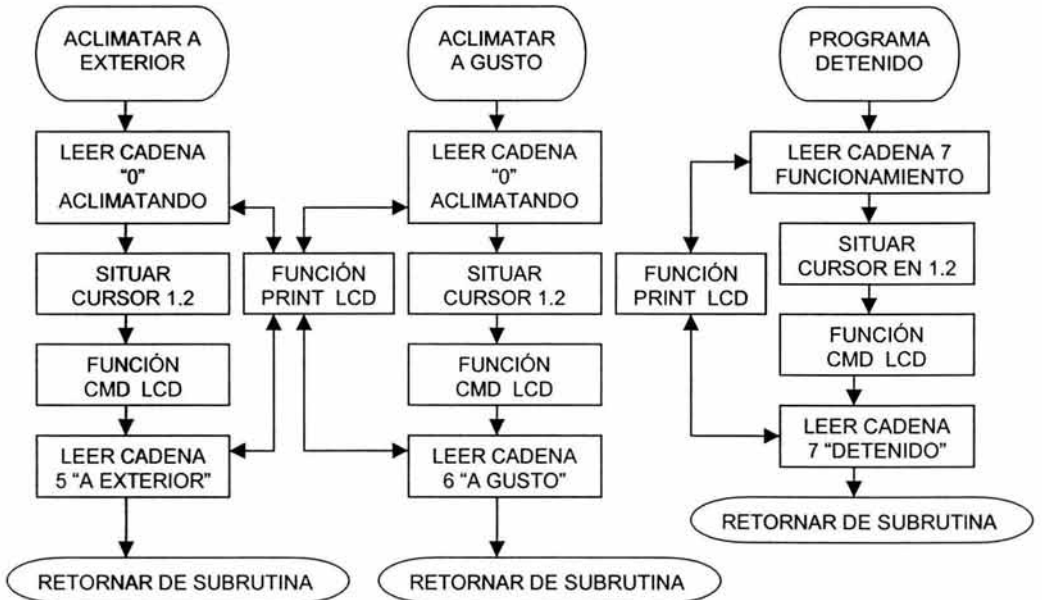
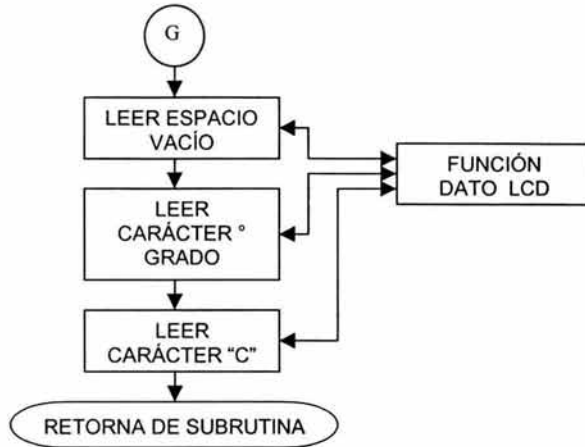


FUNCIÓN PARA DESPLEGAR

CADENAS DE TEXTO EN LCD

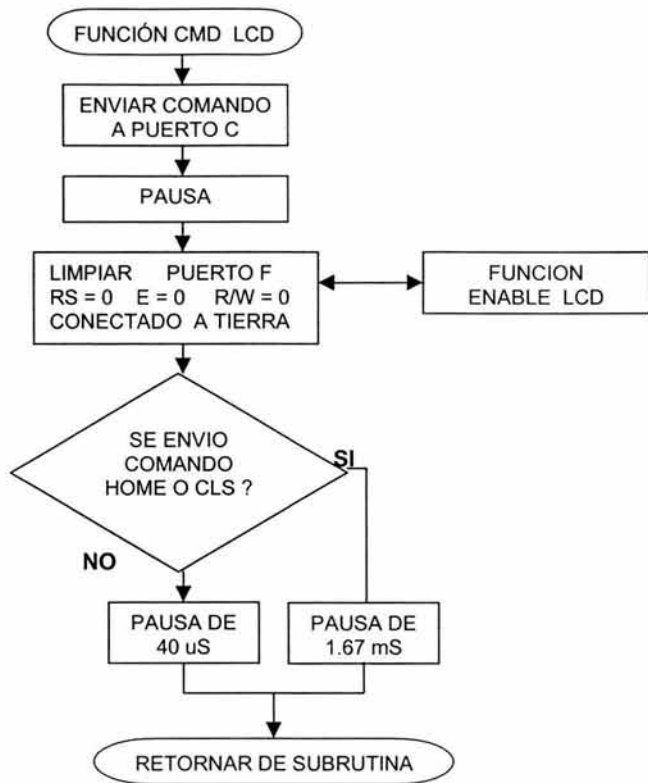






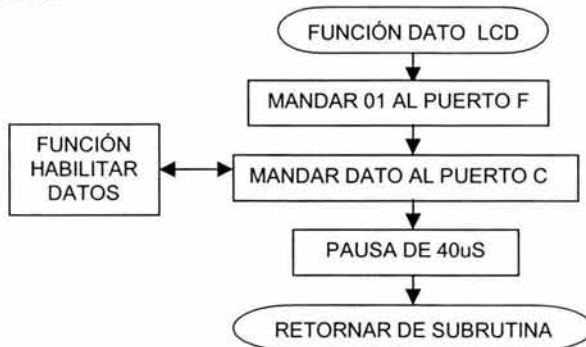
FUNCIÓN PARA

ENVIAR COMANDOS AL LCD

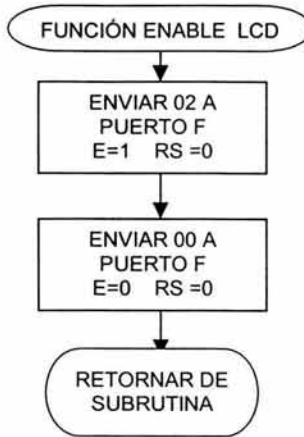


FUNCIÓN PARA ENVIAR

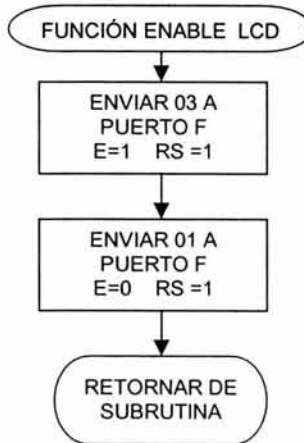
DATOS AL LCD



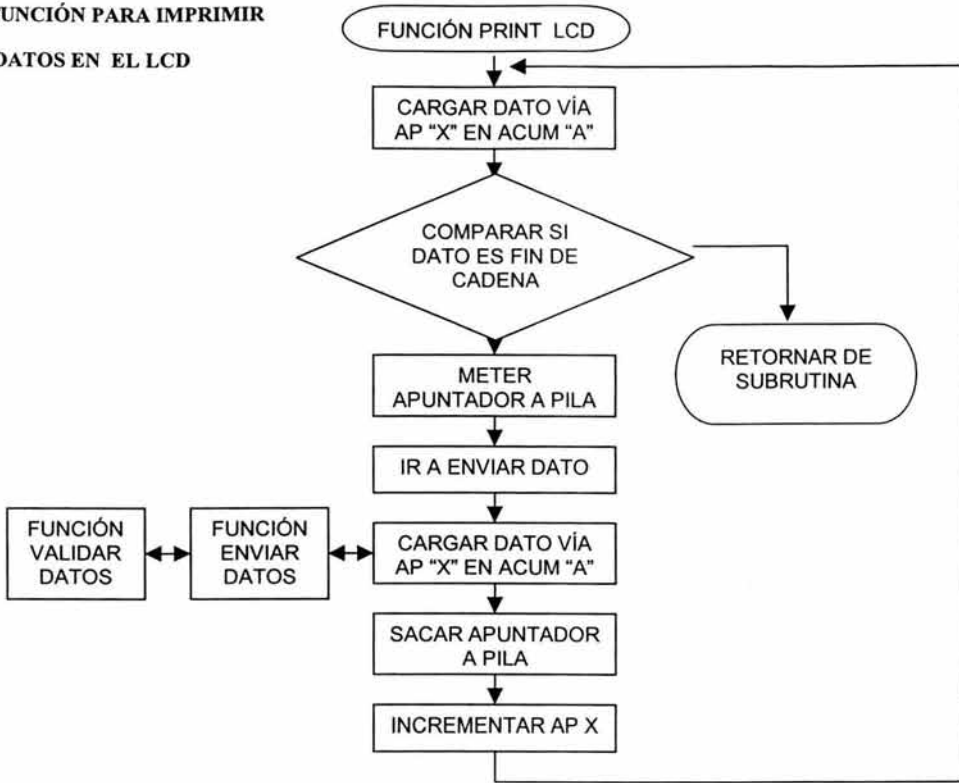
**FUNCIÓN PARA VALIDAR
COMANDOS ENVIADOS AL LCD**



**FUNCIÓN PARA VALIDAR DATOS
ENVIADOS AL LCD**



**FUNCIÓN PARA IMPRIMIR
DATOS EN EL LCD**



5.5.7. IMPLEMENTACIÓN EN LENGUAJE ENSAMBLADOR IASM11

Para obtener el código del programa para la evaluación de la parte difusa se empleó el programa FUDGE mediante el cual en forma gráfica se pudo observar el comportamiento del sistema en el aspecto numérico variando las cantidades de temperatura por medio del resultado de error y variación del error o derivada. Para el programa general se empleó el programa IASM11 y el programa PCBUG11 para modo bootstrap y para modo expandido.

El programa en lenguaje ensamblador es el siguiente:

```

***** UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO UNAM
***** FACULTAD DE INGENIERÍA CIUDAD UNIVERSITARIA NOVIEMBRE DE 2004
***** INGENIERIA ELÉCTRICA ELECTRÓNICA
***** ALUMNO: OSCAR RUBELIO RAMOS GOMEZ
***** PROGRAMA PARA CONTROLAR EL MOVIMIENTO DE AIRE Y TEMPERATURA AMBIENTAL
***** A PARTIR DE UN VENTILADOR Y UN CALEFACTOR AMBIENTALES, IMPLEMENTADO
***** EN UN CONTROL DE TEMPERATURA POR MEDIO DE LOGICA DIFUSA (FUZZY LOGIC)

PAUSACLS EQU $1000 ;ETIQUETA PARA PAUSA COMANDO CLS DEL LCD
PAUSALCD EQU $20 ;ETIQUETA PARA COMANDOS SIMPLES DEL LCD
PORTA EQU $1000 ;DIRECCIONAMIENTO DE ENTRADA DEL PUERTO A
PORTD EQU $1008 ;DIRECCIONAMIENTO DE PUERTO D
DDRD EQU $1009 ;DIRECCIONAMIENTO REGISTRO PUERTO D
OPTION EQU $39 ;REGISTRO OPTION CONVERTIDOR A/D PUERTO E
ADCTL EQU $30 ;REGISTRO ADCTL CONVERTIDOR A/D PUERTO E
ADR1 EQU $31 ;REGISTRO ADR1 PE 0 CONVERTIDOR A/D PUERTO E
ADR2 EQU $32 ;REGISTRO ADR2 PE 1 CONVERTIDOR A/D PUERTO E
TOBJETIVO EQU $2000 ;ETIQUETA PARA TEMPERATURA OBJETIVO CALIBRADA
TACTUAL EQU $2001 ; " " TEMPERATURA ACTUAL MEDIDA POR EL SENSOR
TEXTER EQU $2002 ;ETIQUETA PARA TEMPERATURA EXTERIOR EN HEXADECIMAL
DISPLAY EQU $2003 ;ETIQUETA PARA SALIDA A DISPLAY T OBJETIVO
DISPTAC EQU $2004 ;ETIQUETA PARA SALIDA A DISPLAY T ACTUAL
DISPTEX EQU $2005 ;ETIQUETA DISPLAY TEMPERATURA EXTERIOR
MTEXT EQU $2006 ; " AVISO DE A PROGRAMA MOSTRAR T. EXTERIOR
REAL EQU $2007 ; " " VALOR CALCULADO POR TECLADO
ERRORANT EQU $2008 ; " " ERRORANTERIOR
ERRORNEG EQU $2009 ; " " ERRORNEGATIVO
TIPOP EQU $200A ; " " ETIQUETA PARA TIPO DE PROGRAMA A EMPLEAR
TECLADOBJ EQU $200B ; " " TECLADO DE T OBJETIVO
LCD EQU $200C ; " " TIPO DE DESPLEGADO 2,3,4
DERIVANEG EQU $200D ; " DERIVADA NEGATIVA
NUMERO EQU $200E ;ETIQUETA AUXILIAR PARA IMPRIMIR NUMERO EN LCD

ORG $8000 ;UBICACION DEL PROGRAMA EN LA DIRECCION EEPROM $8000

LDAA #$38
STAA DDRD ;DEFINIENDO PINES 3, 4 Y 5 DEL PUERTO D COMO SALIDAS
*****INICIALIZACION DEL DISPLAY*****
****INIT_LCD
INIT_LCD LDAA #$38
JSR CMD_LCD ;INICIALIZANDO DISPLAY A 8 BITS
LDAA #$0F ;INDICAR PARPADEO DE CURSOR DE LCD
JSR CMD_LCD ;MANDAR COMANDO
LDAA #$01 ;BORRAR DISPLAY
JSR CMD_LCD ;MANDAR COMANDO
LDAA #$02 ;DISPLAY A INICIO
JSR CMD_LCD ;MANDAR COMANDO
*****ROUTINA DE INICIALIZACION DEL TECLADO*****
INICIAL CLRA ;LIMPIAR ACUMULADOR A
CLRB ;LIMPIAR ACUMULADOR B
LDAB #$66 ;INICIANDO CON TEMPERATURA EN HEXA DE 20 GRADOS C.
STAB TECLADOBJ ;ALMACENANDO EN ETIQUETA
LDAB TECLADOBJ
STAB TOBJETIVO ;ALMACENANDO EN ETIQUETA DE RESPALDO

```

```

LDAA #-20 ;CARGAR VALOR INICIAL EN DECIMAL DE 20 GRADOS C.
STAA DISPLAY ;ALMACENANDO EN ETIQUETA T.AGRADABLE INICIAL
LDAA #$01 ;DEFINIENDO PROGRAMA ACLIMAT A T. AGRADABLE
STAA TIPOP ;ALMACENANDO EN ETIQUETA
****PROGRAMA MENU DE TECLADO
INICIO CLRA ;LIMPIAR ACUMULADOR A
CLR B ;LIMPIAR ACUMULADOR B
LDAA PORTA ;VERIFICAR ESTADO DEL TECLADO VIA EL PUERTO A
LDAB TECLADOB ;LEER ETIQUETA DE T. AGRADABLE
COMA ;INVERTIR LA LOGICA DEL ESTADO DEL PUERTO A
CMPA #$01 ;SI SE PRESIONO BOTON SUBIR T. AGRADABLE
BEQ BSUBIR ;SUBIR Y DESPLEGAR T. AGRADABLE INCREMENTADA
CMPA #$02 ;SI SE PRESIONO BOTON BAJAR T. AGRADABLE
BEQ BBAJAR ;BAJAR Y DESPLEGAR T.AGRADABLE DECREMENTADA
CMPA #$04 ;SI SE PRESIONO BOTON DETENER FUNCIONAMIENTO
BEQ DETENER ;DETENER FUNCIONAMIENTO
CMPA #$08 ;SI SE PRESIONO BOTON DESPLEGAR T. EXTERIOR
BEQ MOSTEXT ;DESPLEGAR T.EXTERIOR
CMPA #$10 ;SI SE PRESIONO BOTON DESPLEGAR T. ACTUAL
BEQ DESTACT ;DESPLEGAR T.ACTUAL
CMPA #$20 ;SI SE PRESIONO BOTON DESPLEGAR T.AGRADABLE
BEQ DESPLEGAR ;DESPLEGAR T.AGRADABLE
CMPA #$40 ;SI SE PRESIONO BOTON ACLIMATAR A GUSTO
BEQ SENTEC ;ACLIMATAR A GUSTO
CMPA #$80 ;SE PRESIONO BOTON ACLIMATAR A EXTERIOR
BEQ SENEXT ;ACLIMATAR A T. EXTERIOR
JMP CONTINUA ;NO SE PRESIONO BOTON ENTONCES CONTINUAR
BBAJAR JMP BAJAR ;ENLACE A FUNCION A PROGRAMA SUBIR
BSUBIR JMP SUBIR ;ENLACE DE FUNCION A PROGRAMA BAJAR
****PROGRAMA PARA DESPLEGAR T.AGRADABLE
DESPLEGAR LDAA #$02 ;AVISAR A LCD DESPLEGAR "TEMPERATURA AGRADABLE"
STAA LCD
JSR LCD_DISPLAY ;DESPLEGAR EN DISPLAY TEXTO Y NUMERO
JMP CONTINUA2 ;IR A VERIFICAR FUNCION A SEGUIR
****PROGRAMA PARA DESPLEGAR T.ACTUAL
DESTACT CLRA ;LIMPIAR ACUMULADOR A
STAA MTEXT ;LIMPIAR ETIQUETA DE MOSTRAR T. EXTERIOR
LDAA #$03 ;AVISAR A LCD DESPLEGAR "TEMPERATURA ACTUAL"
STAA LCD
JSR LCD_DISPLAY ;DESPLEGAR EN DISPLAY TEXTO Y NUMERO
JMP CONTINUA2 ;IR A VERIFICAR TIPO DE PROGRAMA A EMPLEAR
*****PROGRAMA PARA CAMBIAR A ACLIMATAR A T.EXTERIOR
SENEXT LDAA #$02 ;CAMBIAR EL TIPO DE PROGRAMA A 2
STAA TIPOP ;ACLIMAR A T. EXTERIOR
LDAA #$05 ;AVISAR A LCD DESPLEGAR "ACLIMATANDO A EXTERIOR"
STAA LCD
JSR LCD_DISPLAY ;DESPLEGAR EN DISPLAY TEXTO
JMP TIEMPO ;REALIZAR RUTINA DE TIEMPO ANTES DE OPRIMIR OTRO BOTON
*****PROGRAMA PARA DESPLEGAR LA T.EXTERIOR
MOSTEXT LDAA #$10 ;AVISAR A PROGRAMA QUE SE REQUIERE REALICE
STAA MTEXT ;CONVERSION HEXA A DECIMAL DE T. EXTERIOR
LDAA #$04 ;AVISAR A LCD DESPLEGAR "TEMPERATURA EXTERIOR"
STAA LCD
JSR LCD_DISPLAY ;DESPLEGAR TEXTO Y NUMERO
JMP TIEMPO ;REALIZAR RUTINA DE TIEMPO ANTES DE OTRO BOTON
*****PROGRAMA PARA ACLIMATAR A GUSTO
SENTEC LDAA #$06 ;AVISAR A LCD DESPLEGAR "ACLIMATANDO A GUSTO"
STAA LCD
JSR LCD_DISPLAY ;DESPLEGAR TEXTO
LDAA #$01 ;CAMBIAR EL TIPO DE PROGRAMA A 1
STAA TIPOP
JMP SIGUE2 ;IR A ALMACENAR LA T. AGRADABLE A T. OBJETIVO

```

```

*****FUNCION DETENER
DETENER    CLRA                ;LIMPIAR ACUMULADOR PARA
           STAA TIPOP          ;CAMBIAR PROGRAMA A DETENIDO
           LDAA #$FF          ;DETENER VENTILADOR O CALEFACTOR
           STAA PORTD         ;PUERTO D
           LDAB #$07          ;AVISAR AL LCD DESPLEGAR "FUNCIONAMIENTO DETENIDO"
           STAB LCD
           JSR LCD_DISPLAY    ;DESPLEGAR TEXTO
           LDAA #$FF          ;ENVIAR VALOR DE FF AL PUERTO B
           STAA $1900         ;PARA DETENER MAS RAPIDAMENTE EL DISPOSITIVO
           JMP CONTINUA      ;IR A CONTINUAR EL PROGRAMA
*****PROGRAMA PARA INCREMENTAR LA T.AGRADABLE Y DESPLEGARLA
SUBIR      ADDB #$05          ;SUMAR 5 NIVELES EN HEXADECIMAL T. AGRADABLE
           LDAA DISPLAY
           ADDA #-01          ;SUMAR 1 NIVEL EN DECIMAL A T. AGRADABLE
           DAA                ;AJUSTAR EL VALOR FINAL A DECIMAL
           STAA DISPLAY      ; DEVOLVER VALOR A ETIQUETA T. AGRADABLE
           JMP SIGUE         ;IR A SIGUE PROGRAMA
*****PROGRAMA PARA BAJAR T.OBJETIVO POR MEDIO DE TECLADO
BAJAR      SUBB #$05          ;RESTAR 5 NIVELES EN HEXADECIMAL A T. AGRADABLE
           LDAA DISPLAY
           SUBA #$01          ;RESTAR 1 NIVEL EN HEXADECIMAL A T. AGRADABLE
           ANDA #$0F          ;EL VALOR DECREMENTADO DIO COMO RESULTADO
           CMPA #$0F          ;LA TRASFERENCIA DE *0 A *F ?
           BEQ SI             ;SI LA RESPUESTA ES SI ENTONCES SALTAR A ETIQUETA
           LDAA DISPLAY      ;SI LA RESPUESTA ES NO ENTONCES RESTAR UNO A
           SUBA #$01          ;VALOR DE DISPLAY
           DAA                ;AJUSTAR A DECIMAL
           JMP SACAR         ;IR ETIQUETA SACAR
SI         LDAA DISPLAY      ;COMO LA TRANSFERENCIA DIO RESULTADO *F
           SUBA #$07          ;EL VALOR DEL DISPLAY SE LE DECREMENTA HASTA *9
SACAR      STAA REAL         ;GUARDAR EL VALOR EN ETIQUETA VALOR REAL
           LDAA REAL
           ANDA #$0A          ;VERIFICAR SI EL VALOR REAL CONTIENE *A DEBIDO A
           CMPA #$0A          ;SENSIBILIDAD DE BITS EN EL MOMENTO DE RESTA
           BEQ CARGA         ;SI LA RESPUESTA ES CONTIENE VALOR *A IR A ETIQUETA
           LDAA REAL         ;SI RESPUESTA ES NO ENTONCES
DIRECTO    STAA DISPLAY      ;MANDAR VALOR REAL A DISPLAY
           JMP SIGUE         ;IR A SIGUE PROGRAMA
CARGA      LDAA REAL         ;COMO CONTIENE REAL VALOR DE *A MANDAR A *0
           ADDA #-06          ;INCREMENTANDO 6 PARA AJUSTAR VALOR
           JMP DIRECTO       ;CONTINUANDO CON PROGRAMA
SIGUE      STAB TECLADOBJ    ;MANDAR EL VALOR EN HEXADECIMAL A T.OBJETIVO
           LDAB TECLADOBJ
           STAB TOBJETIVO
*****RUTINA PARA DESPLEGAR EN LCD T.AGRADABLE
           LDAA #$02          ;AVISAR A DISPLAY DESPLEGAR "TEMPERATURA AGRADABLE"
           STAA LCD
           JSR LCD_DISPLAY    ;DESPLEGAR TEXTO Y NUMERO
*****PROGRAMA PARA TEMPORIZAR TECLAS OPRIMIDAS TIEMPO TOTAL 0.49995 S
TIEMPO     LDAA #$0A          ;RUTINA QUE SE REPITE 10 VECES.
TIM        JSR TIEMPO50
           DECA
           BNE TIM
*****PROGRAMA PARA VERIFICAR TOPE DE FUNCIONALIDAD 0-50 GRADOS C.
           LDAA TOBJETIVO    ;CARGAR EL VALOR DE T.AGRADABLE EN HEXADECIMAL
           CMPA #$02          ;VERIFICAR SI EL VALOR EN HEXADECIMAL ES EL MENOR SI ES
           BEQ SUBE          ;ASI NO FUNCIONAR HASTA OPRIMIR BOTON SUBIR
           CMPA #$FC          ;VERIFICAR SI EL VALOR EN HEXADECIMAL ES EL MAYOR SI ES
           BEQ BAJA          ;ASI NO FUNCIONAR HASTA OPRIMIR BOTON BAJAR
           JMP CONTINUA2     ;IR A CONTINUAR PROGRAMA
*****PROGRAMA PARA ACLIMATAR A GUSTO
SIGUE2     LDAB TECLADOBJ    ;MANDAR VALOR DE T. AGRADABLE A
           STAB TOBJETIVO    ;CARGAR COMO T. OBJETIVO
           JMP TIEMPO        ;TEMPORIZAR 0.5 S ANTES DE OPRIMIR OTRO BOTON

```

```

*****PROGRAMA PARA NO PERMITIR FUNCIONAMIENTO SI TOPE = 0 GRADOS C.
*****HASTA QUE SE PRESIONE TECLA SUBIR
BAJA      LDAA  PORTA      ;VERIFICAR ESTADO DE TECLADO
          COMA          ;CAMBIAR LOGICA DE FUNCIONAMIENTO DEL PUERTO A
          CMPA  #$02      ;VERIFICAR SI SE PRESIONO TECLA BAJAR
          BNE  BAJA      ;EN CASO DE NO, MANTENERSE ESPERANDO RESPUESTA
          LDAB TOBJETIVO ;EN CASO DE SI
          JMP  BAJAR     ;IR A BAJAR T. AGRADABLE
*****PROGRAMA PARA NO PERMITIR FUNCIONAMIENTO SI TOPE = 50 GRADOS C.
*****HASTA QUE SE PRESIONE TECLA BAJAR
SUBE      LDAA  PORTA      ;VERIFICAR ESTADO DE TECLADO
          COMA          ;CAMBIAR LOGICA DE FUNCIONAMIENTO DEL PUERTO A
          CMPA  #$01      ;VERIFICAR SI SE PRESIONO TECLA SUBIR
          BNE  SUBE      ;EN CASO DE NO, MANTENERSE ESPERANDO RESPUESTA
          LDAB TOBJETIVO ;EN CASO DE SI
          JMP  SUBIR     ;IR A SUBIR T. AGRADABLE
*****PERIODO DE TIEMPO APROXIMADO DE 0.049995 SEGUNDOS
TIEMPO50 LDAB  #$21      ;33 VECES SE REPITE LA RUTINA 21 EN HEXADECIMAL
CUENTA   JSR  OTRO      ;IR A OTRO CICLO
          DECB          ;DECREMENTAR EL ACUMULADOR
          BNE  CUENTA    ;EL ACUMULADOR LLEGO A CERO, SI NO MANTENER CICLO
          RTS          ;EN CASO DE SI HABER LLEGADO A CERO RETORNAR DE RUTINA
OTRO     LDX  #$FA      ;TIEMPO TOTAL DE 1515uS CON REPETICION DE 250 VECES
DECREM  DEX  $FF      ;APUNTADOR 6X(JSR)+3(LDX)+3(DEX)+3(BNE)+5(RTS)=1515 uS
          BNE  DECREM    ;EN CASO DE APUNTADOR NO ES CERO SEGUIR EN RUTINA
          RTS          ;REGRESAR DE RUTINA
****PROGRAMA PARA CAMBIAR T.EXTERIOR A T.ACTUAL PARA DESPLEGAR T.EXTERIOR
CONTINUA2 LDAA  MTEXT     ;VERIFICAR SI TECLA OPRIMIDA ES DESPLEGAR T. EXTERIOR
          CMPA  #$10
          BNE  CONTINUA  ;EN CASO DE NO CONTINUAR CON PROGRAMA
          LDAA  TEXTER    ;EN CASO DE SI CAMBIAR T.EXTERIOR A T.ACTUAL
          STAA  TACTUAL   ;PARA PERMITIR TRANSFORMAR DE HEXADECIMAL A DECIMAL
          JMP  VERIF     ;EMPLEANDO EL MISMO PROGRAMA DE CONVERSION.
*****PROGRAMA PARA CONVERSION A/D SENSOR INTERNO TEMPERATURA ACTUAL
CONTINUA CLRA          ;LIMPIAR ACUMULADOR A
          STAA  MTEXT     ;LIMPIAR ETIQUETA MTEXT PARA NO MOSTRAR T.EXTERIOR
          LDY  #$1000    ;DECLARACION DE APUNTADOR Y EN 1000 /////
          BSET OPTION,Y,$80 ;EL BIT 8 EN ON HABILITAR EL CONVERTIDOR A/D
          LDAA #$FF      ;TIEMPO DE CONVERSIÓN ACUMULADOR "A" CON FF
LOOP1    DECA          ;DECREMENTAR EL ACUMULADOR A EN 1
          BNE  LOOP1     ;SALTA SI NO ES IGUAL EL ACUM "A" A CERO
          LDAA #$20      ;////CONVERSION CONTINUA Y
          STAA ADCTL,Y   ;////LEE DATO DE PUERTO PE0 Y CONVIERTE DATO
          BRCLR ADCTL,Y,$80,* ;SALTA SI YA TERMINO CONVERSION
          LDAA ADR1,Y    ;////GUARDA DATO CONVERTIDO DEL PE0
          STAA TACTUAL   ;////EN TACTUAL
          LDAA TACTUAL   ;SUMAR OFFSET PARA AJUSTAR CONVERSIÓN DIGITAL
          ADDA #$30
          STAA TACTUAL   ;GUARDAR EN ETIQUETA TACTUAL AJUSTADA
*****RUTINA PARA CONVERSION A/D SENSOR EXTERNO
BSET  OPTION,Y,$80 ;EL BIT 8 EN ON HABILITAR EL CONVERTIDOR A/D
LDAA  #$FF ;TIEMPO DE CONVERSIÓN ACUMULADOR "A" CON FF
LOOP2 DECA ;DECREMENTAR EL ACUMULADOR A EN 1
      BNE  LOOP2 ;SALTA SI NO ES IGUAL EL ACUM "A" A CERO
      LDAA #$21 ;SENSOR EXTERNO
      STAA ADCTL,Y ;CONVERSION DEL PUERTO E PIN1
      BRCLR ADCTL,Y,$80,* ;SALTAR SI YA TERMINO CONVERSION
      LDAA ADR2,Y ;////GUARDAR DATO CONVERTIDO DEL PE1
      STAA TEXTER ;////EN TEXTERIOR
      LDAA TEXTER ;SUMAR OFFSET PARA AJUSTAR CONVERSIÓN DIGITAL
      ADDA #$30
      STAA TEXTER ;GUARDAR EN ETIQUETA TEXTER AJUSTADA

```



```

*****RUTINA PARA VERIFICAR EL TIPO DE PROGRAMA
*****1 SIGNIFICA CORRER PROGRAMA CON T.OBJETIVO ELEGIDA POR TECLADO
*****2 SIGNIFICA CORRER PROGRAMA CON T.EXTERIOR COMO T.OBJETIVO
      LDAA TIPOP           ;VERIFICAR EL TIPO DE PROGRAMA A EMPLEAR
      CMPA #\$02          ;SI ES 2 ACLIMATAR A EXTERIOR
      BEQ TIPO2          ;SI EL PROGRAMA ES 2 EMPLEAR PROGRAMA ACLIMATAR A EXTERIOR
      CMPA #\$01          ;SI ES 1 ACLIMATAR A GUSTO
      BEQ VERIF          ;SI EL PROGRAMA ES 1 EMPLEAR PROGRAMA ACLIMATAR A GUSTO
      JMP INICIO         ;SI ES CERO REGRESAR A INICIO DE PROGRAMA
TIPO2  LDAA TEXTER       ;TIPO 2 CAMBIAR T.EXTERIOR A T.OBJETIVO
      STAA TOBJETIVO
****RUTINA PARA DESPLEGAR TEMPERATURA ACTUAL O TEMPERATURA EXTERIOR
VERIF  LDAA #\$00        ;INICIAR CON ETIQUETA EN DECIMAL CON 0 GRADOS C
      STAA DISPTAC
      LDAB #\$02         ;INICIAR CON ETIQUETA EN HEXADECIMAL CON VALOR DE 2
RUTINA LDAA TACTUAL      ;CARGAR EL CONTENIDO DE ETIQUETA TACTUAL
      CBA               ;RESTAR T.ACTUAL - 02 = A, A - B = A
      BLS MENOIGUAL     ;SALTAR SI EL RESULTADO ES MENOR O IGUAL A CERO
      ADDB #\$05         ;EN CASO DE QUE NO SUMAR 5 EN HEXADECIMAL
      LDAA DISPTAC      ;CARGAR ETIQUETA CON VALOR DECIMAL
      ADDA #-01         ;E INCREMENTAR EN UN GRADO DECIMAL
      DAA               ;AJUSTAR EL RESULTADO DEL INCREMENTO
      STAA DISPTAC      ;MANDAR NUEVO VALOR INCREMENTADO A ETIQUETA
      CMPB #\$FC         ;COMPARAR EL VALOR HEXA A LIMITE SUPERIOR FC
      BHS MENOIGUAL     ;SALTAR SI RESULTADO ES MAYOR O IGUAL A FC
      JMP RUTINA        ;EN CASO DE NO SALTAR SEGUIR CON LA RUTINA
MENOIGUAL LDAA MTEXT     ;VERIFICAR SI ESTA ACTIVADO DESPLEGAR T.EXTERIOR
      CMPA #\$10         ;COMPARAR SI SE REQUIERE DESPLEGAR T. EXETRIOR
      BNE ER            ;SI NO ES ASI IR A CALCULAR ERROR INSTANTE ACTUAL
      LDAA DISPTAC      ;SI SE REQUIERE DESPLEGAR T. EXTERIOR CAMBIAR VALOR DE
      STAA DISPTX       ;DISPLAY T.ACTUAL A DISPLAY T. EXTERIOR
      JMP INICIO        ;SI ESTA ACTIVADO VOLVER AL INICIO DE PROGRAMA
****RUTINA PARA CALCULO DE ERROR
ER     LDAA TACTUAL      ;CARGA TACTUAL
      SUBA TOBJETIVO     ;TACTUAL-TOBJETIVO = AC "A"
      BCS NEGATIVO      ;SALTA SI EL RESULTADO ES NEGATIVO
      JMP POSITIVO      ;SI NO SALTO ENTONCES RESULTADO ES POSITIVO
****RUTINA PARA ACTIVAR VENTILADOR O CALEFACTOR*****
NEGATIVO STAA ERRORNEG   ;EN CASO DE NEGATIVO ALMACENAR VALOR
      LDAA #\$7F         ;AJUSTAR VALOR A LA TABLA DEL FUDGE
      SUBA ERRORNEG     ;7F - ERRORNEG = AC "A"
      STAA CINS         ;MANDAR A ETIQUETA PARA "ERROR" CALCULADO
CALEFACTOR LDAB #\$20    ;COMO ES NEGATIVO RESULTADO
      STAB PORTD        ;SE DEBE ACTIVAR CALENTADOR
      JMP DERIVADA      ;E IR A CALCULAR LA DERIVADA DE ERROR
POSITIVO ADDA #\$7F       ;EN CASO DE ERROR POSITIVO SUMAR RANGO DE 80 PARA
      STAA CINS         ;AJUSTAR TABLA DEL FUDGE, ENVIAR ERROR CALCULADO
VENTILADOR LDAB #\$10    ;COMO EL ERROR ES POSITIVO ACTIVAR VENTILADOR
      STAB PORTD        ;VIA EL PUERTO D
DERIVADA  LDAA CINS      ;CARGAR ACUM "A" CON ERROR CALCULADO
      SUBA ERRORANT     ;ERROR - ERRORANT = AC "A" "DERIVADA"
      BCS DERNEG       ;VERIFICAR SI DERIVADA ES NEGATIVA
      JMP DERPOS       ;SI NO HAY SALTO ENTONCES ES POSITIVA
DERNEG    STAA DERIVANEG ;MANDAR A DERIVADA NEGATIVA
      LDAA #\$7F         ;AJUSTAR VALOR A LA TABLA DE FUDGE
      SUBA DERIVANEG    ;7F - DERIVANEG = AC "A"
      STAA CINS+1       ;SACAR DE "A" A CINS + 1 DERIVADA CALCULADA
      JMP CAMBIAR       ;IR A ETIQUETA CAMBIAR
DERPOS    ADDA #\$7F       ;SUMAR RANGO DE 80 A VALOR DERIVADA PARA
      STAA CINS+1       ;AJUSTAR A TABLA DE FUDGE , ENVIAR DERIVADA
CAMBIAR   LDAA CINS      ;CARGAR ERROR
      STAA ERRORANT     ;HACIA ERRORANT
      JSR FUZZIFY       ;IR A SUBRUTINA DIFUSA
      LDAA COG_OUT      ;///SACA AL PUERTO SI EL DATO DIGITAL DE SALIDA
      STAA \$1900        ;///DESFUZZIFICADO

```

```

        JMP INICIO ;IR A INICIO DE PROGRAMA
*****FUNCIONES PARA DISPLAY
*****FUNCION PARA ENVIO DE COMANDOS A LCD
****CMD_LCD
****CMD_LCD
CMD_LCD JSR OCUPADO ;IR A RUTINA PARA VERIFICAR SI DISPLAY ESTA OCUPADO
        STAA $1A00 ;MANDAR COMANDO A LA DIRECCIÓN $1A00
        JSR LAPSO ;ESPERAR TIEMPO PARA VALIDAR COMANDO
        CLRA ;ENVIAR 00 A $1A00
        STAA $1A00 ;COMANDOS HOME Y LCD HAY QUE HACER
        LDY #PAUSACLS ;PAUSA DE 1.67us PARA LOS DEMAS COMANDOS 40us
LAPSO JSR PAUSA ;RUTINA DE TIEMPO PARA VALIDAR COMANDO ENVIADO
        RTS ;RETORNAR DE SUBROUTINA
****DATO_LCD
DATO_LCD JSR OCUPADO ;IR A RUTINA PARA VERIFICAR SI DISPLAY ESTÁ OCUPADO
        STAA $1A01 ;MANDAR DATO A LA DIRECCIÓN $1A00
        CLRA
        STAA $1A01 ;MANDAR DATO A LA DIRECCIÓN $1A00
        LDY #PAUSALCD ;HACER PAUSA DE 1.67us
        BRA PAUSA
        RTS ;RETORNAR DE SUBROUTINA
****VERIFICAR SI ESTA OCUPADO EL DISPLAY
OCUPADO PSHA ;METER EL ACUMULADOR A LA PILA
nolisto LDAA $1A00 ;CARGAR LO QUE HAY EN LA DIRECCIÓN $1A00
        ANDA #$80 ;VERIFICAR SI EL BIT MÁS SIGNIFICATIVO ES 1
        BNE nolisto ;SI ES 1 ESPERAR Y REALIZAR NUEVA VERIFICACIÓN
        PULA ;SI ES 0 SACAR EL ACUMULADOR A DE LA PILA
        RTS ;RETORNAR DE SUBROUTINA
****PAUSA DONDE CADA UNIDAD SON 6us
PAUSA DEY ;DECREMENTAR EL APUNTAADOR Y
        CPY #0 ;VERIFICAR SI YA LLEGO A CERO
        BNE PAUSA ;SI NO LLEGO A CERO SEGUIR DISMINUYENDO APUNTAADOR
        RTS ;RETORNAR DE SUBROUTINA
****PRINT_LCD
PRINT_LCD LDAA 0,X ;CARGAR CONTENIDO DE ACUMULADOR A VIA APUNTAADOR X
        CMPA #0 ;COMPARAR SI YA SE CARGÓ FIN DE CHARACTER
        BEQ FINP ;SI YA SE CARGÓ IR A FIN DE SUBROUTINA
        PSXH ;METER EL ACUMULADOR A LA PILA
        BSR DATO_LCD ;IR A SUBROUTINA PARA ENVIO DE DATO
        PULX ;SACAR EL ACUMULADOR A DE LA PILA
        INX ;INCREMENTANDO EL APUNTAADOR X PARA LEER NUEVO CHARACTER
        JSR PRINT_LCD ;IR A SUBROUTINA PARA IMPRIMIR DATO
FINP RTS ;RETORNAR DE SUBROUTINA

****ROUTINAS PARA DISPLAY
LCD_DISPLAY LDAA #$01 ;BORRAR DISPLAY
        JSR CMD_LCD ;ENVIAR COMANDO
        LDAA #$02 ;DISPLAY A HOME
        JSR CMD_LCD ;ENVIAR COMANDO
        LDAA LCD ;LEER EL ESTADO DE ETIQUETA LCD
        CMPA #$05 ;VERIFICAR SI CADENA ES ACLIMATANDO A EXTERIOR
        BEQ ACLIMAEXT
        CMPA #$06 ;VERIFICAR SI CADENA ES ACLIMATANDO A GUSTO
        BEQ ACLIMAGRA
        CMPA #$07 ;VERIFICAR SI CADENA ES FUNCIONAMIENTO DETENIDO
        BEQ PROGDET
        LDY #CAD1 ;LEER CADENA1 "TEMPERATURA"
        JSR PRINT_LCD ;IMPRIMIR CADENA
        LDAA #$C0 ;SITUAR CURSOR EN POSICION 1,2
        JSR CMD_LCD ;ENVIAR COMANDO
        LDAA LCD ;LEER ESTADO DE LA ETIQUETA LCD
        CMPA #$02 ;VERIFICAR SI CADENA ES T. AGRADABLE
        BEQ AGRADABLE
        CMPA #$03 ;VERIFICAR SI CADENA ES T. ACTUAL
        BEQ ACTUAL

```

```

        CMPA    #\$04      ;VERIFICAR SI CADENA ES T. EXTERIOR
        BEQ    EXTERIOR  ;SI ES CIERTO IR A EXTERIOR
        RTS                                ;RETORNAR DE SUBROUTINA
AGRADABLE  LDX    #CAD2      ;LEER CADENA2 "TEMPERATURA AGRADABLE"
          JSR    PRINT_LCD ;IMPRIMIR CADENA
          LDAA   DISPLAY    ;LEER ETIQUETA DISPLAY VALOR T. AGRADABLE
          STAA  NUMERO      ;MANDAR CANTIDAD DE DISPLAY A NUMERO
          JMP    VALOR      ;IR A ETIQUETA VALOR
ACTUAL     LDX    #CAD3      ;LEER CADENA3 "TEMPERATURA ACTUAL"
          JSR    PRINT_LCD ;IMPRIMIR CADENA
          LDAA   DISPTAC    ;LEER ETIQUETA DISPTAC VALOR T. ACTUAL
          STAA  NUMERO      ;MANDAR CANTIDAD DE DISPTAC A NUMERO
          JMP    VALOR      ;IR A ETIQUETA VALOR
EXTERIOR   LDX    #CAD4      ;LEER CADENA4 "TEMPERATURA EXTERIOR"
          JSR    PRINT_LCD ;IMPRIMIR CADENA
          LDAA   DISPTX     ;LEER ETIQUETA DISPTX VALOR DE T. EXTERIOR
          STAA  NUMERO      ;MANDAR CANTIDAD DE DISPTX A NUMERO
          JMP    VALOR      ;IR A ETIQUETA VALOR
ACLIMAEXT  LDX    #CAD0      ;LEER CADENA0 "ACLIMATANDO"
          JSR    PRINT_LCD ;IMPRIMIR CADENA
          LDAA   #\$C0       ;SITUAR CURSOR EN 1,2
          JSR    CMD_LCD    ;MANDAR COMANDO
          LDX    #CAD5      ;LEER CADENA5 "A EXTERIOR"
          JSR    PRINT_LCD ;IMPRIMIR CADENA
          JMP    REGRESA    ;IR A ETIQUETA REGRESA
ACLIMAGRA LDX    #CAD0      ;LEER CADENA0 "ACLIMATANDO"
          JSR    PRINT_LCD ;IMPRIMIR CADENA
          LDAA   #\$C0       ;SITUAR CURSOR EN 1,2
          JSR    CMD_LCD    ;ENVIAR COMANDO
          LDX    #CAD6      ;LEER CADENA6 "A GUSTO"
          JSR    PRINT_LCD ;IMPRIMIR CADENA
          JMP    REGRESA    ;IR A REGRESA
PROGDET   LDX    #CAD7      ;LEER CADENA7 "****FUNCIONAMIENTO****"
          JSR    PRINT_LCD ;IMPRIMIR CADENA
          LDAA   #\$C0       ;SITUAR CURSOR EN 1,2
          JSR    CMD_LCD    ;ENVIAR COMANDO
          LDX    #CAD8      ;LEER CADENA8 "****DETENIDO****"
          JSR    PRINT_LCD ;IMPRIMIR CADENA
          JMP    REGRESA    ;IR A REGRESA
VALOR     LDAA   NUMERO      ;LEER NUMERO ALMACENADO EN ETIQUETA
          ASRA                                ;DESPLAZAR
          ASRA                                ;4 BITS A LA
          ASRA                                ;DERECHA, EL CONTENIDO DEL
          ASRA                                ;ACUMULADOR A
          CMPA   #0          ;COMPARAR EL CONTENIDO CON 0
          BEQ    SALTA      ;EN CASO DE QUE SI, IR A SALTA
          ADDA  #\$30        ;SI NO SALTO AJUSTAR NUMERO A TABLA DE DATOS
          JSR   DATO_LCD    ;ENVIAR EL DATO AL LCD
SALTA     LDAA   NUMERO      ;CARGAR NUEVAMENTE ETIQUETA DISPLAY O DISPTAC
          ANDA  #\$0F        ;VERIFICAR LOS 4 BITS MENOS SIGNIFICATIVOS
          ADDA  #\$30        ;SUMAR 30 PARA AJUSTAR NUMERO A TABLA DE DATOS
          JSR   DATO_LCD    ;ENVIAR DATO
          LDAA  #' '        ;LEER UN ESPACIO VACIO
          JSR   DATO_LCD    ;ENVIAR DATO AL LCD
          LDAA  #\$DF        ;LEER CARACTER "GRADO" DIRECCION DEL MISMO
          JSR   DATO_LCD    ;ENVIAR DATO AL LCD
          LDAA  #'C'        ;CARGAR CARACTER "C"
          JSR   DATO_LCD    ;ENVIAR DATO AL LCD
REGRESA   RTS                                ;RETORNAR DE SUBROUTINA

```

****DEFINICION DE CADENAS A ESCRIBIR EN EL LCD

****AL FINAL DE CADA CADENA SE COLOCA UN CARACTER DE FIN DE CADENA 0

```

CAD0      FCB  "ACLIMATANDO"
          FCB  0
CAD1      FCB  "TEMPERATURA"
          FCB  0
CAD2      FCB  "AGRADABLE:"
          FCB  " "
          FCB  0
CAD3      FCB  "ACTUAL:"
          FCB  " "
          FCB  0
CAD4      FCB  "EXTERIOR:"
          FCB  " "
          FCB  0
CAD5      FCB  "A"
          FCB  " "
          FCB  "EXTERIOR"
          FCB  0
CAD6      FCB  "A"
          FCB  " "
          FCB  "GUSTO"
          FCB  0
CAD7      FCB  "**FUNCIONAMIENTO**"
          FCB  0
CAD8      FCB  "****DETENIDO****"
          FCB  0

```

***INSERTANDO LAS SALIDAS PROVENIENTES DEL FUDGE...

```

INPUT_MFS EQU  * ; FUNCIONES DE PERTENENCIA DE ENTRADA
IN0MF     EQU  * ; ERROR
          FCB  $00,$00,$20,$08 ; GRANDE NEGATIVO
          FCB  $20,$08,$40,$08 ; MEDIANO NEGATIVO
          FCB  $40,$08,$60,$08 ; CHICO NEGATIVO
          FCB  $60,$08,$80,$08 ; CERO
          FCB  $80,$08,$9f,$08 ; CHICO POSITIVO
          FCB  $9f,$08,$bf,$08 ; MEDIANO POSITIVO
          FCB  $bf,$08,$ff,$00 ; GRANDE POSITIVO
          FCB  $00,$00,$00,$00 ; ~
IN1MF     EQU  * ; DERIVADA
          FCB  $00,$00,$40,$04 ; NEGATIVA
          FCB  $40,$04,$80,$04 ; CERO
          FCB  $80,$04,$ff,$00 ; POSITIVA
          FCB  $00,$00,$00,$00 ; ~
          FCB  $00,$00,$00,$00 ; ~
          FCB  $00,$00,$00,$00 ; ~
          FCB  $00,$00,$00,$00 ; ~
          FCB  $00,$00,$00,$00 ; ~
          FCB  $00,$00,$00,$00 ; ~
SGLTN_POS EQU  * ; FUNCIONES DE PERTENENCIA DE SALIDA
OUT0MF    EQU  * ; ANGULO DE DISPARO
          FCB  $00 ; 0 0
          FCB  $40 ; 45 0
          FCB  $80 ; 90 0
          FCB  $bf ; 135 0
          FCB  $ff ; 180 0
          FCB  $00 ; ~
          FCB  $00 ; ~
          FCB  $00 ; ~

```

****PROCESO DE REGLAS.

```

RULE_START EQU  * ; REGLAS DE CONTINUACIÓN
          FCB  $06
          FCB  $0a
          FCB  $80
          FCB  $00
          FCB  $09

```

FCB	\$80
FCB	\$00
FCB	\$0a
FCB	\$80
FCB	\$01
FCB	\$08
FCB	\$82
FCB	\$01
FCB	\$09
FCB	\$82
FCB	\$01
FCB	\$0a
FCB	\$81
FCB	\$02
FCB	\$08
FCB	\$83
FCB	\$02
FCB	\$09
FCB	\$83
FCB	\$02
FCB	\$0a
FCB	\$82
FCB	\$03
FCB	\$08
FCB	\$84
FCB	\$03
FCB	\$09
FCB	\$84
FCB	\$03
FCB	\$0a
FCB	\$83
FCB	\$04
FCB	\$08
FCB	\$83
FCB	\$04
FCB	\$09
FCB	\$83
FCB	\$04
FCB	\$0a
FCB	\$82
FCB	\$05
FCB	\$08
FCB	\$82
FCB	\$05
FCB	\$09
FCB	\$82
FCB	\$05
FCB	\$0a
FCB	\$81
FCB	\$06
FCB	\$08
FCB	\$80
FCB	\$06
FCB	\$09
FCB	\$80
FCB	\$00
FCB	\$08
FCB	\$80
FCB	\$ff
END_OF_RULE	
NUMINP EQU	\$2
NUMOUT EQU	\$1

```

***** INICIO DE PROCESO DE INFERENCIA DIFUSA*****
FUZZIFY   LDY   #FUZ_INS           ;Y APUNTA A ESPACIO PARA ENTRADAS DIFUSAS MÁXIMO 8
          LDX   #CINS+NUMINP-1    ;X APUNTA A ESPACIO PARA ENTRADA DE OCHO BITS MAS 1
PUSH_LOOP LDA   0,X               ;CARGAR A "A" EL CONTENIDO DE LA DIRECCIÓN DE X
          PSHA                      ;GUARDA EL ACUMULADOR PILA
          CPX   #CINS              ;COMPARAR EL VALOR DE "X" CON LA ENTRADA DE ERROR?
          BEQ   DONE_PUSH          ;SI ES CIERTO IR A ETIQUETA FUNCIONES DE PERTENENCIA
          DEX                      ;SI NO SALTO DECREMENTAR EL APUNTADEOR X EN UN VALOR
          BRA   PUSH_LOOP          ;IR A REPETIR CICLO PARA LOCALIZAR ENTRADA DE ERROR
DONE_PUSH LDX   #INPUT_MFS        ;X APUNTA A TABLA DE ENTRADAS
NXTIN_LP  PULA                      ;GUARDAR EL ACUMULADOR A EN LA PILA
          LDAB  #7                 ;CICLO PARA 8 VECES
          STAB  LP_COUNT           ;INICIALIZANDO ETIQUETA DE CONTADOR
GRAD_LOOP EQU   *                 ;VERIFICAR GRADO DE PERTENENCIA PARA UNA ENTRADA
GET_GRADE PSHA                      ;GUARDAR LA ENTRADA DEL ACUMULADOR "A" EN LA PILA
          CLRB                      ;LIMPIAR EL ACUMULADOR "B"
          SUBA  2,X                ;VALOR DE ENTRADA ES
          BLS  NOT_SEG2           ;MENOR AL PUNTO DE INICIAL DE CAMBIO DEL CONJUNTO?
          LDAB  3,X                ;SI NO SALTO CARGAR AL ACUMULADOR "B" SIGUIENTE PUNTO
          BEQ   HAV_GRAD           ;IR A LIMITAR REGION DE SEGMENTO 2
          MUL                      ;VERIFICAR SI SE ENCUENTRA CERCA DE FF
          TSTA                      ;CHECAR SI "A" ES MAYOR QUE FF
          BEQ   NO_FIX             ;SALTA A ETIQUETA SI EL BIT 8 = 0
          CLRB                      ;LIMPIAR ACUMULADOR B
          BRA   HAV_GRAD           ;IR A LIMITAR REGION DEL SEGMENTO 2
NO_FIX    SUBB  #$FF               ;RESTAR VALOR FF AL PUNTO 3
          NEGB                      ;MANDAR VALOR A MAYOR DE CERO
          BRA   HAV_GRAD           ;IR A LIMITAR REGION DE SEGMENTO 2
NOT_SEG2  ADDA  2,X                ;COMO VALOR ES MENOR A PUNTO 2 SUMAR AL ACUM "A"
          SUBA  0,X                ;RESTAR A "A" EL PUNTO 1
          BLO  HAV_GRAD           ;SALTA SI "A" ES MENOR O IGUAL A CERO
          LDAB  1,X                ;CARGAR A "B" EL VALOR DE PUNTO 1
          BEQ   VERT_SLP           ;SI EXISTE ACARREO LIMITAR SIGUIENTE REGION
          MUL                      ;VERIFICAR SI SE ENCUENTRA CERCA DE FF
          TSTA                      ;CHECAR SI "A" ES MAYOR QUE FF
          BEQ   HAV_GRAD           ;SALTA A ETIQUETA SI EL BIT 8 = 0
VERT_SLP  LDAB  #$FF               ;LIMITAR REGION DEL SIGUIENTE SEGMENTO
HAV_GRAD  INX                      ;IR A SIGUIENTE REGIÓN
          INX                      ;AUMENTANDO EL VALOOR DE PUNTERO X CUATRO POSICIONES
          INX
          INX
          PULA                      ;ALMACENAR EL ACUMULADOR A EN LA PILA
          STAB  0,Y                ;GUARDAR LA ENTRADA DIFUSA
          INY                      ;INCREMENTAR PUNTERO PARA GUARDAR OTRA ENTRADA DIFUSA
          DEC  LP_COUNT            ;DECREMENTAR EL CONTADOR UANA POSICIÓN
          BPL  GRAD_LOOP           ;SI RESULTADO ES POSITIVO REALIZAR OTRO CICLO
          CPY   #NUMINP*8+FUZ_INS ;VARIO LA ENTRADA DIFUSA?
          BNE  NXTIN_LP            ;SI ES FALSO, REALIZAR 8 CICLOS DESDE EL PRINCIPIO
***** REALIZAR LA FUZZIFICACION, PARA EVALUAR LAS SIGUIENTES REGLAS *****
          LDX   #FUZ_OUTS          ;X APUNTA A PRIMERA SALIDA DIFUSA
CLR_OUTS  LDA   #8*NUMOUT          ;ACUMULADOR A MANTIENE EL NUMERO DE SALIDAS DIFUSAS
          CLR  0,X                 ;LIMPIAR LA SALIDA DIFUSA
          INX                      ;INCREMENTAR EL APUNTADEOR X
          DECA                      ;DECREMENTAR INDICE DE CICLOS
          BNE  CLR_OUTS            ;CONTINUAR CICLO SI EL INDICE DE CICLOS NO ES CERO
          LDY   #RULE_START        ;Y APUNTA A INICIO DE REGLAS 1era REGLA
          LDA   #$FF               ;INCIANDO PROCESAMIENTO DE LA SERIE DE REGLAS
***** UNA ELECCIÓN PARA OBTENER EL GRADO DE LAS PARTES PEQUEÑAS (min) *****
IF_LOOP   LDAB  0,Y                ;OBTENER EL BYTE 000X XAAA DE LA REGLA; SI X ES A
          BMI  THEN_LOOP           ;SI EL BIT MSB=1, IR A AJUSTAR REGLA
          INY                      ;INCREMENTAR Y PARA IR A OTRO BYTE DE REGLA
          LDX   #FUZ_INS           ;X APUNTA A LAS ENTRADAS DIFUSAS
          ABX                      ;MANDAR LA REGLA A LA ENTRADA DIFUSA ESPECIFICA
          CMPA  0,X                ;ES ESTA ENTRADA DIFUSA ES MENOR A FF?
          BLS  IF_LOOP             ;SI NO ES ENTONCES REEMPLAZAR POR OTRA DISMINUIDA

```

```

LDAA 0,X ;SI ES CIERTO QUE ES MENOR REEMPLAZAR LA MÍNIMA
BNE IF_LOOP ;A MENOS QUE SEA CERO, IR A SIGUIENTE BYTE DE REGLAS
FIND_THEN LDAB 0,Y ;OBTENER EL SIGUIENTE BYTE DE REGLAS
BMI FIND_IF ;EL MSB ES UNO SALTAR A RUTINA HASTA ETIQUETA
INY ;INCREMENTAR APUNTADOR Y, AL SIGUIENTE BYTE DE REGLAS
FIND_IF BRA FIND_THEN ;REPETIR CICLO PARA VERIFICAR OTRAS REGLAS
INY ;INCREMENTAR Y A SIGUIENTE REGLA
LDAB 0,Y ;OBTENER EL SIGUIENTE BYTE DE REGLAS
BPL RULE_TOP ;EL MSB ES CERO IR A ETIQUETA TOP DE REGLAS
CMPB #$FF ;COMPARAR MARCA DE REGLA CON FF
BNE FIND_IF ;SI ES CERO REALIZAR CICLO PARA REGLA POSITIVA
BRA DEFUZ ;IR A PROPORCIONAR REGLA PARA DESFUZZIFICAR
THEN_LOOP LDX #FUZ_OUTS ;X APUNTA A SALIDAS DIFUSAS
ANDB #$7F ;VERIFICAR SI SE ENCUENTRA EN 7F
ABX ;MANDAR LOQUE EXISTE EN B AL APUNTADOR X

***** GRADO DE PERTENENCIA PARA REGLAS EN EL ACUMULADOR A *****
CMPA 0,X ;COMPARAR LAS SALIDAS DIFUSAS
BLO NOT_HIER ;SALTAR SI ES MENOIR QUE CERO
STAA 0,X ;NO SALTO MANDAR VALOR DE "A" A SALIDAS DIFUSAS
NOT_HIER INY ;SIGUIENTE BYTE DE REGLAS DIFUSAS
LDAB 0,Y ;OBTENER SIGUIENTE BYTE DE REGLAS DIFUSAS
BPL RULE_TOP ;SI MSB=0, IR A NUEVA REGLA
CHK_END CMPB #$FF ;VERIFICAR SI REGLA ES FF
BNE THEN_LOOP ;SI NOE SE FF, REALIZAR NUEVO CICLO

***** EVALUADAS TODAS LAS REGLAS, PARA DEZZFUZZIFICACIÓN DE SALIDAS DIFUSAS *****
DEFUZ LDY #SGLTN_POS ;Y APUNTA A 1era SALIDA DE SINGLETON
LDX #FUZ_OUTS ;X APUNTA A 1era SALIDA DIFUSA
CLR COGDEX ;LIMPIAR INDICE DE CICLOS PARA ACARREOS DE 0 A 1
COG_LOOP LDAB #8 ;8 SALIDAS DIFUSAS PARA SALIDAS COG
STAB SUMDEX ;MANDAR A INDICE DE SUMAS CICLOS DE 8 A 0
LDD #$0000 ;EMPLEAR PARA LIMPIAR CICLOS RÁPIDOS
STD SUM_OF_FUZ ;SUMA DE SALIDAS DIFUSAS
STD SUM_OF_PROD+1 ;NIVEL BAJO EMPLEAR 16-bits PARA SUMA DE PRODUCTOS
STAA SUM_OF_PROD ;NIVEL ALTO EMPLEAR 8-bits
SUM_LOOP LDAB 0,X ;OBTENER SALIDAS DIFUSAS
CLRA ;LIMPIAR PARA NIVEL ALTO 8-bits
ADDD SUM_OF_FUZ ;ADICIONAR A LA SUMA DE SALIDAS DIFUSAS
STD SUM_OF_FUZ ;GUARDAR DATOS VARIABLES EN RAM
LDAA 0,X ;OBTENER NUEVAMENTE LAS SALIDAS DIFUSAS
LDAB 0,Y ;OBTENER LA POSICION DE LA SALIDA DE SINGLETONS
MUL ;PESADEZ DEL TIEMPO DE POSICIÓN
ADDD SUM_OF_PROD+1 ;NIVEL BAJO 16-bits EMPLEAR SUMA DE PRODUCTOS
STD SUM_OF_PROD+1 ;ALMACENAR DATOS NIVEL BAJO 16-bits
LDAA SUM_OF_PROD ;NIVEL ALTO 8-bits
ADCA #0 ;ADICIONAR ACARREO PARA 16-bit DE SUMA
STAA SUM_OF_PROD ;NIVEL ALTO 8-bits DE SUMA EMPLEANDO 24-bit
INY ;Y APUNTA A LA SIGUIENTE POSICIÓN DE SINGLETON
INX ;X APUNTA A A LA SIGUIENTE SALIDA DIFUSA
DEC SUMDEX ;DECREMENTAR UN CICLO PARA INDICE DE SUMAS
BNE SUM_LOOP ;REALIZAR CICLO PARA TODAS ETIQUETAS Y SALIDAS
PSHX ;GUARDAR EL INDICE EN PILA
CLRA ;LIMPIAR ACUMULADOR
LDX SUM_OF_FUZ ;EL DENOMINADOR PUEDE DIVIDIR?
BEQ SAV_OUT ;IR A ETIQUETA SI EL DENOMINADOR ES CERO
TST SUM_OF_PROD ;VERIFICAR SI EXISTEN NUMEROS DE 16-bit
BNE NUM_BIG ;SI ES CERO O MAYOR DE 16-bits
LDD SUM_OF_PROD+1 ;NUMERADOR PARA DIVISIÓN
IDIV ;RESULTADO EN NIVEL ALTO 8-bits DE X
XGDX ;RESULTADO ACTUAL EN B
TBA ;MOVER EL RESULTADO AL ACUMULADOR A
BRA SAV_OUT ;IR A SALVAR LS SALIDA
NUM_BIG LDD SUM_OF_PROD ;NUMERADOR ALTO 16 Ó 24-bit
TST SUM_OF_PROD+2 ;VERIFICAR ERROR PARA RUTINA
BPL NO_ROUND ;SI EL MSB ES CERO, NO REALIZAR LA RUTINA
ADDD #1 ;RUTINA DE NUMERADOR ARRIBA ES 1

```

```

NO_ROUND      FDIV                ;EMPLEAR LA DIVISIÓN D/X -> X, PARTE ALTA 8 Ó 16
              XGDY                ;RESULTADO ACTUAL EN A
SAV_OUT       LDY      #COG_OUT    ;X APUNTA A LA 1era SALIDA DESFUZZIFICADA
              LDAB     COGDEX      ;NUMERO DE SALIDA CORRIENTE
              ABX                ;X APUNTA A LA SALIDA CORRECTA
              STAA     0,X          ;GUARDAR DATO DEZFUZZIFICADO DE SALIDA
              PULX                ;RESGUARDAR INDICE X EN PILA
              INCB                ;INCREMENTAR EL ÍNDICE X EN UN CICLO
              STAB     COGDEX      ;GUARDAR DATO DE SALIDA TOTAL
              CMPB     #NUMOUT     ;OBTENER MÁS SALIDAS?
              BNE      COG_LOOP    ;SI ES FALSO CONTINUAR CON EL CICLO
              RTS                ;RETORNAR DE SUBROUTINA
***** TERMINA EL PROCESO DE INFERENCIA *****
ORG           $4000              ;ESPACIO EN RAM EXTERNA DIRECCION 4000

CINS          RMB     NUMINP      ;ESPACIO PARA ENTRADA DE 8 BITS
FUZ_INS       RMB     8*NUMINP    ;ESPACIO PARA ENTRADAS DIFUSAS (DERECHA NOW MAX=8)
FUZ_OUTS      RMB     8*NUMOUT    ;ESPACIO PARA SALIDAS DIFUSAS (DERECHA NOW MAX=4)
COG_OUT       RMB     NUMOUT      ;SALIDAS DESFUZZIFICADAS
SUM_OF_FUZZ   RMB     2          ;11-BITS PARA LA SUMA DE SALIDAS FUZZIFICADAS
SUM_OF_PROD   RMB     3          ;19-BITS PARA LA SUMA DE PRODUCTOS
COGDEX        RMB     1          ;NUMERO DE ACARREOS DE SALIDA PARA CICLO COG
LP_COUNT      RMB     1          ;INDICE PARA CICLO DE FUZZIFICACIÓN
SUMDEX        RMB     1          ;INDICE PARA CICLO DE SUMAS

```

ARCHIVO TESIS.S19 EMPLEANDO EEPROM Y RAM

```

S11380008638B710098638BD825C860FBD825C86CF
S113801001BD825C8602BD825C4F5FC666F7200BA1
S1138020F6200BF720008620B720038601B7200A2C
S11380304F5FB61000F6200B4381012722810227EF
S11380401B8104276781082743811027208120276B
S11380501181402747818027237E81777E80D37ECC
S113806080C58602B7200CBD82A47E81674FB720ED
S1138070068603B7200CBD82A47E81678602B720E2
S11380800A8605B7200CBD82A47E811C8610B72009
S1138090068604B7200CBD82A47E811C8606B72008
S11380A00CBD82A48601B7200A7E81324FB7200A14
S11380B086FFB71008C607F7200CBD82A486FFB759
S11380C019007E8177CB05B620038B0119B72003F5
S11380D07E810BC005B620038001840F810F270920
S11380E0B620038001197E80EEB620038007B720F6
S11380F007B62007840A810A2709B62007B7200398
S11381007E810BB620078B067E80FDF7200BF620C0
S11381100BF720008602B7200CBD82A4860ABD811D
S1138120574A26FAB620008102271E81FC270C7EBE
S11381308167F6200BF720007E811CB61000438176
S11381400226F8F620007E80D3B610004381012673
S1138150F8F620007E80C5C621BD81605A26FA3912
S1138160CE00FA926FD39B6200681102609B6206C
S113817002B720017E81D54FB7200618CE10001813
S11381801C398086FF4A26FD862018A730181F3028
S113819080FB18A631B72001B620018B30B720012F
S11381A0181C398086FF4A26FD862118A730181F1F
S11381B03080FB18A632B72002B620028B30B720DD
S11381C002B6200A81022707810127097E8030B682
S11381D02002B720008600B72004C602B62001191
S11381E02312CB05B620048B0119B72004C1FC244B
S11381F0037E81DCB6200681102609B62004B72050
S1138200057E8030B62001B0200025037E8222B78F
S11382102009867FB02009B74000C620F710087EE9
S1138220822C8B7FB74000C610F71008B64000B010
S1138230200825037E8245B7200D867FB0200DB728

```


S113824040017E824A8B7FB74001B64000B72008C8
 S1138250BD8464B6401AB719007E8030BD8282B7EF
 S11382601A00BD826D4FB71A0018CE1000BD828C63
 S113827039BD8282B71A014FB71A0118CE002020E7
 S11382800B3936B61A00848026F932391809188C4D
 S1138290000026F839A600810027083C8DD3380851
 S11382A0BD8295398601BD825C8602BD825CB620A2
 S11382B00C810527508106276081072770CE8377BC
 S11382C0BD829586C0BD825CB6200C8102270981DF
 S11382D00327148104271F39CE8383BD82958620DA
 S11382E003B7200E7E8341CE838FBD8295B62004D2
 S11382F0B7200E7E8341CE839BB8295B62005B701
 S1138300200E7E8341CE836BBD829586C0BD825C88
 S1138310CE83A7BD82957E836ACE836BBD8295860C
 S1138320C0BD825CCE83B2BD82957E836ACE83BAA1
 S1138330BD829586C0BD825CCE83CBB82957E8393
 S11383406AB6200E47474747810027058B30BD8218
 S113835071B6200E840F8B30BD82718620BD827170
 S113836086DFBD82718643BD82713941434C494DDC
 S11383704154414E444F0054454D5045524154558B
 S1138380524100414752414441424C453A20004148
 S113839043545414C3A202020200045585445521E
 S11383A0494F523A20200041204558544552494FE4
 S11383B052004120475553544F002A46554E4349D5
 S11383C04F4E414D49454E544F2A002A2A2A44E9
 S11383D04554454E49444F2A2A2A2A0000002008C1
 S11383E020084008400860086008800880089F084A
 S11383F09F08BF08BF08FF000000000000400401
 S1138400400480048004FF00000000000000001D
 S11384100000000000000000000000004080BFD9
 S1138420FF000000060A80000980000A800108821B
 S1138430010982010A81020883020983020A820374
 S11384400884030984030A83040883040983040A4F
 S113845082050882050982050A81060880060980CA
 S1138460000880FF18CE4002CE4001A600368C40A2
 S11384700027030920F5CE83DC32C607F7402136F6
 S11384805FA0022310E603271C3D4D27035F201540
 S1138490C0FF502010AB02A000250AE60127043DCE
 S11384A04D2702C6FF080808083218E70018087AA2
 S11384B040212ACB188C401226BFCE401286086F6A
 S11384C000084A26FA18CE842486FF18E6002B24D6
 S11384D01808CE40023AA10023F1A60026ED18E6C2
 S11384E0002B04180820F7180818E6002ADB1FF3F
 S11384F026F52017CE4012C47F3AA1002502A7001A
 S1138500180818E6002AC2C1FF26E918CE841CCE3A
 S113851040127F4020C608F74022CC0000FD401BDB
 S1138520FD401EB7401DE6004FF3401BFD401BA657
 S11385300018E6003DF3401EFD401EB6401D8900B4
 S1138540B7401D1808087A402226DB3C4FFE401B2A
 S1138550271A7D401D2608FC401E028F17200DFCA3
 S1138560401D7D401F2A03C30001038FCE401AF62D
 S112857040203AA700385CF74020C10126973914
 S9030000FC

ARCHIVO TESIS.FDG **SALIDA DEL FUDGE

```

INPUT_MFS    EQU    *           ; FUNCIONES PERTENECIA DE ENTRADA
INOMF        EQU    *           ; ERROR
FCB          $00,$00,$20,$08 ; GRANDE NEGATIVO
FCB          $20,$08,$40,$08 ; MEDIANO NEGATIVO
FCB          $40,$08,$60,$08 ; CHICO NEGATIVO
FCB          $60,$08,$80,$08 ; CERO
FCB          $80,$08,$9f,$08 ; CHICO POSITIVO
FCB          $9f,$08,$bf,$08 ; MEDIANO POSITIVO
FCB          $bf,$08,$ff,$00 ; GRANDE POSITIVO
FCB          $00,$00,$00,$00 ; ~

IN1MF        EQU    *           ; DERIVADA
FCB          $00,$00,$40,$04 ; NEGATIVA
FCB          $40,$04,$80,$04 ; CERO
FCB          $80,$04,$ff,$00 ; POSITIVA
FCB          $00,$00,$00,$00 ; ~
FCB          $00,$00,$00,$00 ; ~
FCB          $00,$00,$00,$00 ; ~
FCB          $00,$00,$00,$00 ; ~
FCB          $00,$00,$00,$00 ; ~

SGLTN_POS    EQU    *           ; FUNCIONES DE PERTENECIA DE SALIDA
OUTOMF       EQU    *           ; ANGULO DE DISPARO
FCB          $00           ; 0 °
FCB          $40           ; 45 °
FCB          $80           ; 90 °
FCB          $bf           ; 135 °
FCB          $ff           ; 180 °
FCB          $00           ; ~
FCB          $00           ; ~
FCB          $00           ; ~

RULE_START   EQU    *           ; REGLAS DE CONTINUACIÓN
FCB          $06
FCB          $0a
FCB          $80
FCB          $00
FCB          $09
FCB          $80
FCB          $00
FCB          $0a
FCB          $80
FCB          $01
FCB          $08
FCB          $82
FCB          $01
FCB          $09
FCB          $82
FCB          $01
FCB          $0a
FCB          $81
FCB          $02
FCB          $08
FCB          $83
FCB          $02
FCB          $09
FCB          $83
FCB          $02
FCB          $0a
FCB          $82
FCB          $03
FCB          $08
FCB          $84
FCB          $03
FCB          $09
FCB          $84
FCB          $03

```

	FCB	\$0a
	FCB	\$83
	FCB	\$04
	FCB	\$08
	FCB	\$83
	FCB	\$04
	FCB	\$09
	FCB	\$83
	FCB	\$04
	FCB	\$0a
	FCB	\$82
	FCB	\$05
	FCB	\$08
	FCB	\$82
	FCB	\$05
	FCB	\$09
	FCB	\$82
	FCB	\$05
	FCB	\$0a
	FCB	\$81
	FCB	\$06
	FCB	\$08
	FCB	\$80
	FCB	\$06
	FCB	\$09
	FCB	\$80
	FCB	\$00
	FCB	\$08
	FCB	\$80
END_OF_RULE	FCB	\$ff
NUMINP EQU		\$2
NUMOUT EQU		\$1

5.6. SUBSISTEMA IMPULSOR.

El subsistema impulsor consiste en un circuito disparador para dos triac's que recibe la señal proveniente del microcontrolador y que controla la potencia que se alimenta al ventilador y al calefactor.

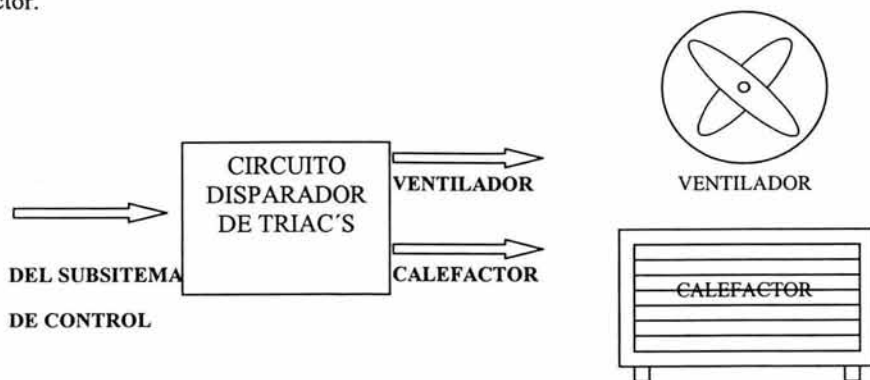


FIGURA 44. DIAGRAMA DE SUBSISTEMA IMPULSOR

5.6.1. Principio de operación.

Esta señal de salida digital del microcontrolador se envía a un convertidor digital analógico DAC para obtener una señal de voltaje analógica comprendida entre 0 y 5 volts misma que servirá para controlar el ángulo de disparo entre 0° y 180° angulares que se aplica a un circuito de disparo de TRIAC'S mismo que permitirá el flujo de corriente eléctrica respectiva hacia el ventilador o calefactor según se requiera.

5.6.2. Circuito de convertidor señal digital/analógica DAC.

El circuito empleado para realizar la conversión de la señal digital proveniente del Puerto del microcontrolador se basa en el circuito integrado DAC0800 para ello se dispuso de la configuración de hojas de especificaciones para obtener tal funcionamiento. La salida analógica obtenida del DAC0800 proviene del pin 2 del propio DAC con una polarización de funcionamiento comprendido entre los valores de +5V y -5V respectivamente. Mientras el bit más significativo se alimenta al pin5 y el bit menos significativo se alimenta al pin12 del propio DAC0800.

5.6.3. Circuito de disparo de triac's.

Para disparar los TRIAC'S se debe en primera instancia obtener una señal sincronizada con la onda de potencia suministrada a dichos TRIAC'S para regular la potencia que se le suministra a los mismos, vía pulsos en la compuerta del mismo con cierta frecuencia o ángulo de disparo. Se toma entonces una parte escalada de la señal de la línea eléctrica residencial por medio de un transformador con tap central o derivación que reduce el voltaje de línea y que además aísla la parte de control de TRIAC'S de la parte de la línea eléctrica o de potencia en el circuito eléctrico, un circuito de resistencias reduce la corriente de dicha señal senoidal, se convierte esta señal senoidal en una onda cuadrada por medio de un amplificador operacional empleado como comparador. Posteriormente se requiere entonces obtener una señal triangular para poder obtener también una señal diente de sierra de ciclo positivo, para lo cual se coloca un circuito integrador por medio de un

amplificador operacional, una resistencia y un capacitor además de un transistor para obtener solo el medio ciclo positivo integrado es decir una rampa positiva, la otra señal proveniente del otro extremo derivador del transformador es introducida a otro proceso idéntico al anterior obteniéndose al final dos rampas separadas ambas positivas pero en diferente medio ciclo una rampa en el positivo y otro en el negativo de la señal proveniente de la línea eléctrica. En este momento se puede ya introducir una señal de DC para “cortar” la señal rampa de acuerdo al voltaje de DC y obtener una señal cuadrada que es el pulso ya modificado en frecuencia que se invertirá para limpiarla y darle mayor conformación, cabe recordar que este proceso es paralelo a la señal de ciclo negativa misma que también se invierte. La señal o voltaje de DC es la señal proveniente del DAC regulable respecto al voltaje de entrada digital proveniente del microprocesador que ya está en fase con los ciclos positivos y negativos de la línea. Los pulsos sincronizados y determinados en frecuencia se unen para pasar a un capacitor de bajo valor en serie que filtra la señal de DC que contienen esta señal de AC además de no permitir pasar pulsos bruscos en la señal finalmente obtenida permitiendo pasar solo la señal AC para posteriormente mandar dicha señal a 2 MOC'S con resistencias de protección para el led interno de los MOC'S y para regular la corriente de la señal. Cada flanco positivo sincronizado con la red en los ciclos positivo y negativo disparan los TRIAC'S que se conectan del lado de potencia de los MOC'S respectivos conectados al ventilador y al calefactor donde se obtiene finalmente los pulsos positivos y negativos requeridos para el funcionamiento de los TRIACS, disparando el gate o compuerta del triac dado por la señal de control y además en donde se aísla a la salida de la etapa de control de la línea eléctrica residencial.

Para mantener el control de activación de ventilación o calefacción respectiva las “tierras” de los leds internos de los MOC'S del lado del circuito de control se conectan a los pines del puerto D del microcontrolador empleado para mandar la señal respectiva de tierra de activación del dispositivo requerido según que el ERROR INSTANTE ACTUAL sea positivo, negativo o cero.

Circuito para mantener el voltaje mínimo de disparo.

El circuito de disparo requiere un circuito adicional que se encargue de proporcionar un voltaje mínimo para mantener un pulso de disparo al MOC y que active el TRIAC, ya que cuando el voltaje de DC que “corta” a la rampa obtenido en el circuito de disparo es de 0V y se requiere máxima potencia, no existe corte alguno con lo cual no se genera pulso alguno que dispare el TRIAC, cuando que es en este valor cuando se debería alcanzar el disparo de máxima potencia que se suministra al TRIAC. Para evitar este problema se verificó el voltaje mínimo en que deja de existir este pulso, siendo de 0.9V de DC en que el disparo se produce todavía. Así es como se obtiene el máximo pulso y la diferencia entre el corte en cero y el corte en 0.9V resultó ser muy pequeño ya que la potencia que se suministraba a la carga con voltaje nominal de 120V y corriente nominal de 1.1A, resultó ser de 132W, es decir se suministro una corriente máxima de 1.08A, por lo que existe un valor de potencia de 1.7W y una cantidad de corriente de 200mA que no se emplean en el motor, valor que se puede considerar mínimo y que no afecta en forma al valor de funcionamiento, dado que el valor de voltaje constantemente varía según que exista cargas en la misma fase y de acuerdo a la utilización de energía tal es el caso de los días domingo en la noche en que el valor de voltaje llega a bajar hasta 110V o menos y días como por ejemplo en la mañanas en que el voltaje sube hasta 127V por lo que lo anteriormente considerado es valor aproximado de utilización del dispositivo para valor promedio de 120V. El voltaje óptimo se observó para más de 1.0V de DC con lo cual se determino lo siguiente.

El circuito empleado consiste en dos resistencias en serie que hacen una derivación de voltaje a partir de la fuente de 8.5V con una resistencia de 12K conectada a la fuente descrita en serie con otra resistencia de 2.2K conectada a tierra esta última resistencia se obtiene el voltaje indicado dado que;

$$V = R_1 * I + R_2 * I$$

$$8.5V = (12Kohms + 2.2Kohms) * I$$

$$I = 0.0005985 \text{ A}$$

$$V_{R_2} = R_2 * I$$

$$V_{R_2} = 2.2Kohms * 0.5985mA$$

$$V_{R_2} = 1.3167V$$

Que para el caso de 120V mantiene un voltaje de 1.3167 el voltaje que se tendrá será el de máximo valor y para el caso en el que el voltaje disminuya hasta 110V, se tienen 8.0V en el transformador y consecuentemente $V_{R_2} = 1.2394V$. Funcionando perfectamente para esta condiciones.

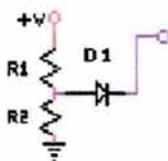


FIGURA 45a. CIRCUITO PARA MANTENER VOLTAJE MÍNIMO DE DISPARO

5.6.4. Fuentes de voltaje.

Las fuentes de voltaje empleadas se obtienen de un transformador de 18V @ 1A con tap central la señal de AC es rectificadas por un integrado de puente de diodos para una corriente de 2 Amperes y 600V de voltaje de AC obteniéndose una señal de DC pulsante que se filtra con dos capacitores de 4700 uF a 25V uno para la señal de DC pulsante positiva y otro para la señal de DC pulsante negativa minimizando el rizo obtenido. Esta señal es filtrada de "pulsos" o "picos" de voltaje con un capacitor de 0.1uF la señal de DC rectificadas positiva es introducida a dos reguladores de voltaje, a un LM317 obteniendo un voltaje de salida de 8.5V de DC y otro regulador LM7805 que mantiene el voltaje en +5V. La señal de DC negativa rectificadas es introducida similarmente a dos reguladores LM337 y un LM7905 obteniéndose un voltaje de -9V y -5V respectivamente, la diferencia de voltajes entre la fuente de 8.5 V y la fuente de 9.0 V es de 0.5V, y manifiesta un mejor comportamiento de la rampa que se genera en el proceso de los amplificadores operacionales dado que se obtiene que exista una rampa mas ajustada a los valores entre 0 y 5V esto es porque se pierden aproximadamente 3.5V positivos en la comparación de la señal positiva y -4V en la comparación de la señal negativa debido al funcionamiento interno del amplificador operacional.

Las señales de voltaje obtenidas por los reguladores son filtradas evitando los pulsos cuya derivada sea muy rápida esto lo realizan dos capacitores de 0.1uF.

5.6.5. Diagrama eléctrico y electrónico.

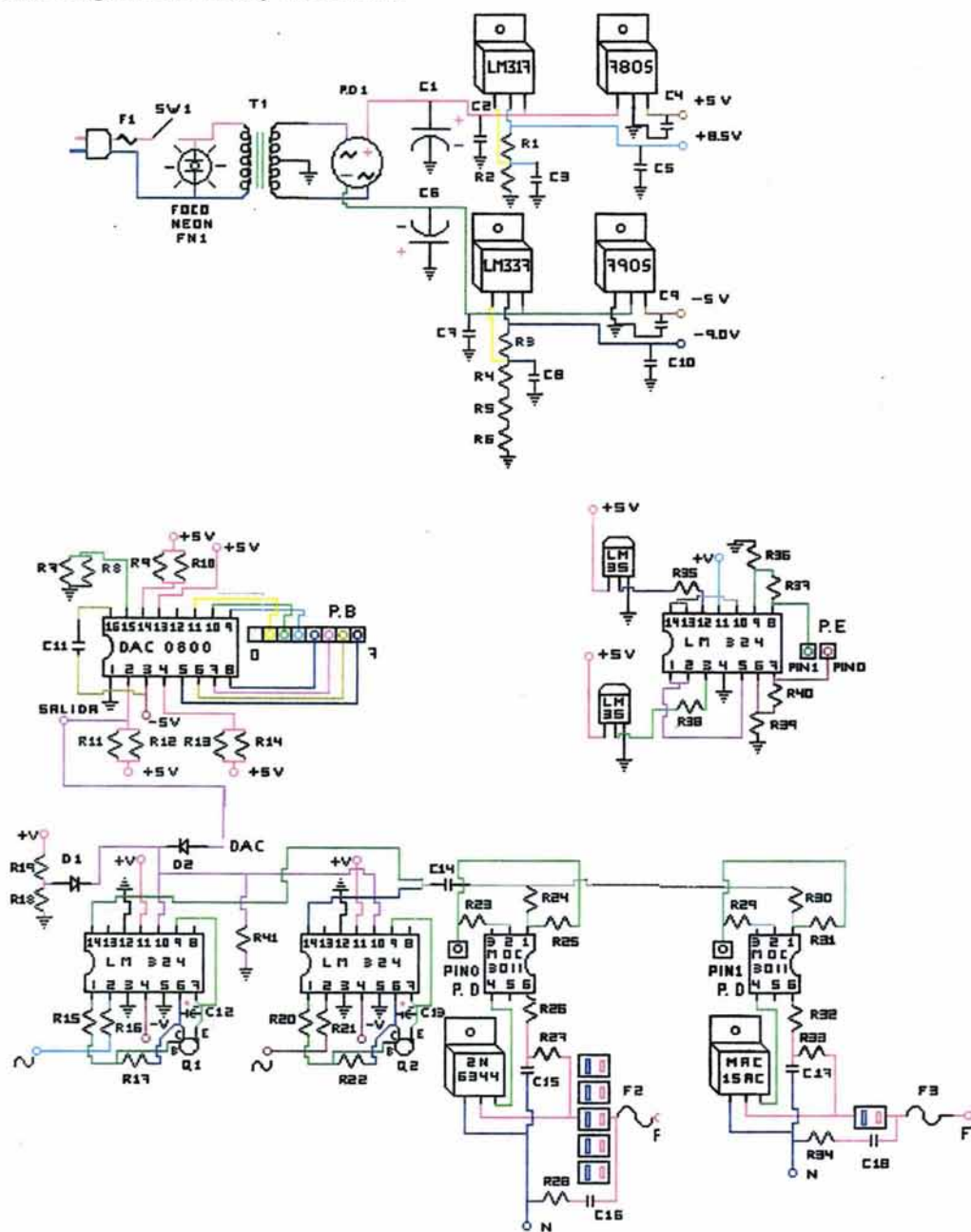
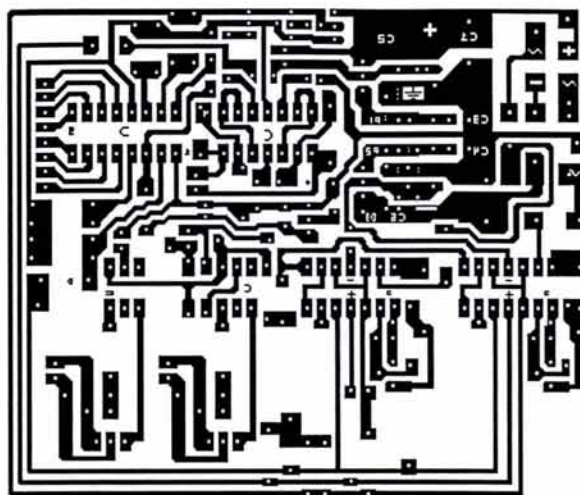


FIGURA 45b. DIAGRAMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO GENERAL.



TESIS CONTROLADOR DIFUSO
OSCAR RUBELIO RAMOS GOMEZ

FIGURA 46. DISEÑO EN POSITIVO PARA IMPRESO DE DIAGRAMA ELECTRÓNICO FUENTES DE VOLTAJE REGULADAS +8.5V, -9.0V, +5V, -5V, CIRCUITO DISPARADOR PARA DOS TRIAC'S CON 8 AMPLIFICADORES OPERACIONALES, 4 PARA CICLO POSITIVO Y 4 PARA CICLO NEGATIVO, 2 MOC'S AISLADORES DE CIRCUITO DE CONTROL Y CIRCUITO DE POTENCIA CONTROLADOS POR PINES CONECTADOS A PUERTO D DE MICROCONTROLADOR, CONVERTIDOR DAC PARA SEÑAL DE PUERTO SI, Y 4 AMPLIFICADORES PARA AJUSTE DE SEÑAL PARA 2 SENSORES DE TEMPERATURA, 2 AMPLIFICADORES OPERACIONALES POR SENSOR, 2 TRIACS CON CIRCUITO DE PROTECCIÓN DE DERIVADA DE VOLTAJE Y DERIVADA DE CORRIENTE CON CARGA INDUCTIVA - RESISTIVA (VENTILADORES) Y CARGA RESISTIVA (CALEFACTOR).

5.6.6. Lista de material empleado:

INTEGRADOS

- 1 LM317.
- 1 LM337.
- 1 LM7805.
- 1 LM7905.
- 3 LM324
- 1 DAC0800
- 2 MOC3011
- 2 2N2222
- 2 LM35DZ

1 2N6344A

1 MAC15AC

CAPACITORES:

C1 y C6. Electrolíticos 4700 uf 25 V.

C2, C4, C5, C7, C9, C10, C14, C15 y C17. 0.1uf

C3 y C8 Electrolíticos 10 uf 25 V.

C11 0.01uf

C12 y C13 22 uf 50V.

C16 Y C18 CAPACITOR DE SNUBBER

RESISTENCIAS

R1 560 OHMS.

R2, R25, R31 6 KOHMS.

R3 120 OHMS

R4, R5 630 OHMS

R6, R15, R17, R20, R22, R23, R24, R26, R29, R30, R32 330 OHMS

R7 A R14 10 K OHMS

R16, R21, R36, R39 1 K OHMS

R18 2.2 K OHMS

R19 12 K OHMS

R27, R33, R37, R40 4 K OHMS

R28, R34 SNUBBER

R35, R38 2 K OHMS

R41 2.5 M OHMS

MATERIAL ANEXO

T1 TRANSFORMADOR 18V @ 1A

F1 PORTAFUSIBLE Y FUSIBLE 560ma

F2 PORTAFUSIBLE Y FUSIBLE 10A

F3 PORTAFUSIBLE Y FUSIBLE 15A

SW1 Y FN1 SWITCH CON FOCO NEÓN INTEGRADO

PD1 PUENTE RECTIFICADOR DE DIODOS 600V A 2A

1 GABINETE, TERMOFIT, ETC.

5.6.7. Justificación para elegir los circuitos electrónicos.

Para las fuentes de voltaje se eligieron los reguladores LM317, LM337 debido a su bajo nivel de componentes externos, además de mantener una buena regulación del voltaje requerido, LM7805, LM7905 no requieren componentes externos para su operación además de mantener una regulación fija de 5v para el primero y de -5v para el segundo. El convertidor D/A seleccionado es el DAC0800 debido a que su tiempo de conversión es realmente bajo del orden de los 100ns y permite ajuste de conversión para un valor entre 0V a 5 V, además de requerir bajo nivel de componentes externos para su funcionamiento y un bajo consumo en potencia de 33 mW a +/- 5V.

El encapsulado LM324 se eligió para los amplificadores operacionales ya que este circuito integrado cuenta con cuatro amplificadores operacionales, un amplio ancho de banda de 1MHZ, para su funcionamiento requieren de una fuente simple entre 3v a 32v y de que también funcionan con una fuente de entre +/- 1.5V y +/- 16V. El LM324 también tiene compensación interna en temperatura, una baja entrada de valor de voltaje de offset del orden de 2mV y bajo offset de corriente de 5nA. Además de utilizar un bajo nivel de potencia para su funcionamiento.

Los sensores LM35DZ es un circuito integrado de precisión para medir temperatura en grados centígrados su rango de funcionamiento de temperatura oscila entre 0°C a 100°C y opera en un voltaje de entre 3 a 30V por lo que cumple con lo que se requiere en el proyecto ya que de salida se tiene 10mV/°C y tiene una alta impedancia de salida lo que garantizará ruidos en la señal de medición que se encuentre cerca del sensor.

Los MOC3011 son elementos que funcionarán para aislar la parte de control de la parte de potencia ya que del lado de la fuentes de voltaje ya se encuentra un aislante de la línea residencial hacia la etapa de control por medio de un transformador. El led interno del MOC3011 tiene un voltaje nominal de 1.3V y 10mA de corriente y puede soportar un voltaje de inversa de hasta 3V y una corriente máxima de paso de hasta 50mA. Por lo que dadas sus características es conveniente para poder emplearse en el circuito ya que el pulso de disparo mínimo de compuerta debe tener una corriente mínima de 10mA. Del lado de potencia el voltaje de salida cuando se encuentra en estado de off es de 250V.

Los TRIACS empleados son el 2N6344 que funciona hasta para 10A para el caso del ventilador en donde se pueden colocar hasta 5 ventiladores de este tipo no habiendo problema con el voltaje. El MAC15AC funciona para el voltaje de 127V y puede operar hasta para 15A. En el anexo correspondiente aparecen las hojas de especificaciones de todos los circuitos empleados.

6. RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

6.1. DESEMPEÑO.

El desempeño del dispositivo final manifestó un buen comportamiento probado en ambientes templados alcanzando un buen nivel de confort en el ambiente de la habitación agradable, además de adaptarse rápidamente según las condiciones de temperatura de un lugar determinado.

Para verificar la forma de desempeño se empleó un ventilador de uso comercial de costo real entre \$250 a \$400 pesos cuyas características eléctricas son un voltaje estándar de funcionamiento de 120V de AC, con un consumo de corriente de 1.1 Amp. Frecuencia de operación estándar de 60 Hz, de tipo Helicoidal de chorro. Este tipo de ventilador tiene un diámetro de 50.8cm (20 pulgadas) diseñado para permanecer en una sola posición fija mientras está en uso pero con posiciones variables de acomodo, incluso en forma vertical que según se ha observado funciona para cuando existe una atmósfera ambiental que requiere ventilación cómoda y sin molestar a nadie con el flujo de aire. Este tipo de ventilador es diseñado para áreas grandes ya sea para salas o cuartos aproximados de estancia múltiple donde se encuentran aparatos fuentes de calor. El ventilador cuenta con un selector para tres posiciones de utilización respectivas a tres velocidades del giro del ventilador. Dicho selector se coloca en el máximo valor de funcionamiento ya que dicha velocidad será comandada por el dispositivo controlador.

El calefactor empleado de uso comercial de costo real entre \$400 a \$500 pesos con características eléctricas de 127V de AC. con un selector de potencia de 700W y 1350W cuya corriente promedio es de 5.51A a 10.62A respectivamente y frecuencia de operación estándar de 60Hz, de tipo radiador, en el cual circula aire impulsado por un pequeño ventilador interno y atraviesa la resistencia calefactora y se transmite el calor al aire. Este calefactor cuenta con un sistema de seguridad el cual se basa en que cuando la resistencia y sus elementos rebasan cierta cantidad de calor se desactiva su funcionamiento para mantener la seguridad de utilización y de evitar daños a los componentes internos del calefactor. También cuenta con un termostato el cual queda desactivado colocándolo en la posición máxima de empleo, ya que será comandado por el dispositivo controlador.

El dispositivo se empleo para poder enfriar una habitación de dimensiones $5m \times 3m = 15m^2$ x $2.20m = 33.00m^3$ en donde la temperatura inicial fue de $25^{\circ}C$. Para este fin se mantuvieron abiertas las ventanas de la habitación que medía $35m^2$. La temperatura externa se encontraba a $22^{\circ}C$. Aproximadamente durante los 20 minutos posteriores comenzó a ajustarse la temperatura a $23^{\circ}C$ y después de 10 minutos más a 21 grados centígrados cuyo ajuste fino del giro del motor permitió una regulación agradable que no permitió incrementar la temperatura. Aunque en el interior del cuarto se encontraban 4 personas desarrollando actividades diversas de trabajo cotidiano consideradas como trabajo de oficina.

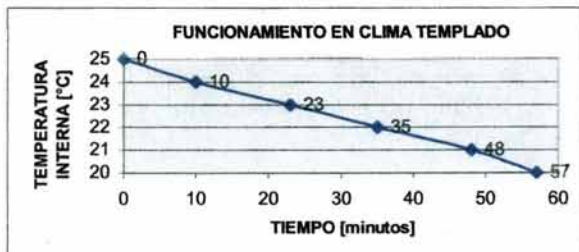


FIGURA 46a. FUNCIONAMIENTO DE CONTROLADOR EN CLIMA TEMPLADO.

En una segunda prueba de desempeño del dispositivo final se mantuvieron las ventanas del cuarto cerradas y con una temperatura inicial de la habitación de 25°C se activó el ventilador para disminuir la temperatura a 20°C la activación del aparato solo permitió la convección interna en el cuarto pero dado que no existió intercambio de aire externo frío y de aire interno caliente no se permitió la renovación de aire ni que disminuyera la humedad por convección-conducción, sin embargo la brisa de aire proveniente del ventilador afinaba los cambios por evaporación de humedad de las 4 personas que se encontraban en la habitación y permitió soportar la temperatura de la habitación. La temperatura interior solo cambió después de que el ambiente exterior disminuyó su temperatura. Con lo anterior se obtuvo una disminución de temperatura interna de 23°C debido a que se sacó parte del aire húmedo dentro del cuarto al exterior al haberse hecho circular por el ventilador. Posteriormente la temperatura externa comenzó a disminuir mayormente y la temperatura interna también debido al oscurecer del día y cambio de corrientes de aire externas al cuarto. Con ello la temperatura interna de la habitación disminuyó hasta 20°C ajustándose finamente la temperatura por medio del giro del motor y del sensor interno a la habitación.

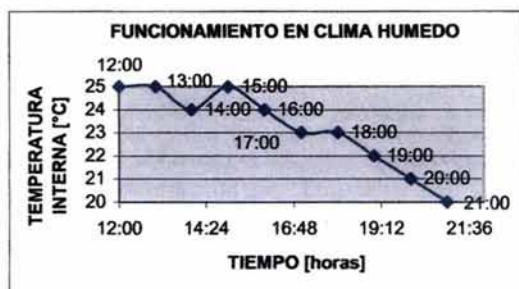


FIGURA 466. FUNCIONAMIENTO DEL CONTROLADOR EN CLIMA HÚMEDO.

Por la noche la temperatura externa había disminuido drásticamente hasta 18°C y dado que la temperatura interna en la habitación se encontraba en 20°C el dispositivo se encontraba suspendido activamente cuando la temperatura interna comenzó a disminuir sensiblemente a 18°C, el calefactor se encendió, dicho funcionamiento fue sentido fielmente hasta disminuir a 16°C pero el calefactor se encendió a los 17°C.

El dispositivo fue probado para cuando se requiere regular el funcionamiento por medio de la temperatura corporal en la superficie del organismo tal es el caso de probar sostener el sensor con la mano manteniéndose la persona en estado de reposo en donde se observó un funcionamiento que se puede adaptar mejor al temperatura corporal en cuyo caso la temperatura que se seleccione con el teclado para el dispositivo deberá de ser aproximadamente entre 32°C a 34°C y se ocupa un cable largo desde el dispositivo hasta el usuario.

El funcionamiento en clima húmedo fue aceptable dado que el dispositivo fue probado en clima con una gran humedad y presencia de calor máximo, para cuyo fin el dispositivo ventilador fue dirigido directamente al usuario incrementando el coeficiente de evaporación y siendo realmente refrescante para el usuario empleando el dispositivo de esta forma.

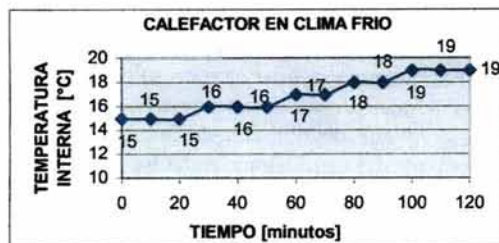


FIGURA 46c. FUNCIONAMIENTO DEL CONTROLADOR EN CLIMA FRÍO.

6.2. RESULTADOS.

Los resultados obtenidos son un dispositivo capaz de regular la temperatura ambiental de un lugar por medio de un sensor de temperatura ambiental controlando el flujo de aire de un ventilador y el empleo de un calefactor, consecuentemente la convección-conducción del aire con el medio o en su caso, la aceleración de la evaporación de la humedad corporal o habitacional de un cuarto. El dispositivo manifiesta:

- 1) Rango de temperatura de operación comprendido entre 0°C y 50°C.
- 2) Tope de funcionamiento para ambas escalas cuando la temperatura mínima agradable u objetivo es de 0°C se activa un mecanismo que no permite descender a menor temperatura hasta presionar el botón de incremento respectivo para aumentar a por lo menos 1°C de elección. Respectivamente sucede esto para la temperatura mayor de 50°C.
- 3) Sensibilidad de operación entre cada grado centígrado de 5 niveles diferentes determinados por software ya sea por introducción de temperatura vía teclado o por medio de la lectura de los sensores de medida.
- 4) Teclado amable con el usuario por medio de botones de fácil utilización con características accesibles.
- 5) Funciones:
 - a) Aumento de Temperatura agradable u objetivo seleccionable con un solo botón.
 - b) Disminución de Temperatura agradable u objetivo seleccionable con un solo botón.
 - c) Función de activación de programa ambiental a temperatura agradable elegida por el usuario.
 - d) Función de activación de programa ambiental a temperatura exterior para aclimatar usuario.
 - e) Verificación de temperatura agradable u objetivo que fue introducida por teclado.
 - f) Verificación de temperatura actual dentro del cuarto o habitación.
 - g) Verificación de temperatura exterior al cuarto o habitación o temperatura ambiental externa.
 - h) Botón especial de detener funcionamiento activamente (interrupción por software).
- 6) Display de lectura accesible para verificar el funcionamiento del sistema e interrelación con el usuario desplegando la función solicitada por el usuario vía el teclado de operación.

- 7) Control de activación o desactivación de dispositivo vía el software de operación evitando falsa activación de dispositivo de funcionamiento.
- 8) Funcionamiento autónomo que no requiere la utilización de una computadora para el empleo del dispositivo esto dado por la aplicación de la tarjeta FACIL_11B.
- 9) Los rangos de características eléctricas:
 - a) Voltaje nominal de alimentación 127V.
 - b) Frecuencia de operación 60Hz.
 - c) Consumo de corriente máximo para ventiladores es de 12A pero por normas de seguridad de operación este consumo máximo debe ser del 85% de la potencia máxima, es decir de 10.2 A redondeado a 10A lo que da como tal una operación en paralelo máxima de hasta 5 ventiladores de 1.1A por circuito de TRIAC similares al empleado en el dispositivo motivo de esta tesis ya que la corriente de arranque para cada ventilador es de hasta 2A. Para el caso de calefactores con una potencia de hasta 1500W se requiere utilizar un solo calefactor por circuito empleado. Ya que la corriente a 127 V es de 7.87A y a 110V es de 9.0A y hasta de 10.63A y 12.27A respectivamente.
 - d) Compatibilidad de uso con otros tipos de ventiladores y calefactores que manejen la misma frecuencia de operación de 60 Hz, voltaje nominal de 127 V y corriente de consumo máxima de 10A para ventilador y 13A para calefactor. La utilización de otro ventilador o calefactor se realiza conectándolo al contacto de salida del dispositivo de control y colocando el control propio del ventilador o calefactor en el máximo valor de utilización con ello el dispositivo controlador comandará el dispositivo conectado a el.
- 10) Conexión polarizada y manejo de tierra física.
- 11) El rango de ventilación del sistema o alcance del mismo con un solo ventilador varía de acuerdo al tipo de ventilador usado (mayores referencias se dan en la presente tesis en el apartado de anexos) pero para el caso de el ventilador helicoidal con características ya descritas anteriormente empleado en el presente dispositivo se puede lograr un flujo de 0 a 8.136m/s. Lo que indica un buen desplazamiento de aire requerido para áreas amplias. Para observar mas características referirse al capítulo 1.6) *la influencia del movimiento del aire* de esta tesis. El aspecto de funcionamiento del dispositivo diseñado se verifica que se adapta rápidamente como anteriormente se mencionó a los cambios de temperatura repentinos causados por todas las características propias de un lugar cerrado como un cuarto o habitación, en donde la simple apertura de un cuarto que se encuentra con aire a muy diferente temperatura que en donde se encuentra en uso el ventilador y/o calefactor hace que el sensor detecte dicha presencia de aire y el dispositivo en cuestión tome las “decisiones” de control correspondientes para adecuar el nuevo ambiente detectado.

6.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Los resultados obtenidos a partir de la realización de este dispositivo, manifiestan que el objetivo primordial de poder diseñar un controlador que se adaptara rápidamente a los cambios de temperatura y que fuera capaz de regular la temperatura de un lugar por medio de la ventilación o aceleración del movimiento de aire dentro de un lugar fue logrado como se planteó al inicio de esta tesis como objetivo primordial de diseño. Los factores que afectan el funcionamiento de ventilación

por convección conducción, como lo es una atmósfera excesivamente húmeda, quedan resueltos por el empleo de circulación y movimiento forzado de aire por medio de un ventilador, “enfriando” el ambiente a partir del incremento del coeficiente de evaporación, permitiendo una mayor evaporación del sudor corporal y evaporación del agua de objetos cercanos, esto debido a la función incrementada de secar el aire reduciendo la humedad en sitio e incrementando esta función al factor de empleo de este dispositivo.

Considerando el aspecto de que ocurre que la temperatura ambiental disminuye tan repentinamente y de forma drástica, se tomó la decisión de adjuntar el empleo de un calefactor para climas extremos en donde se requiera elevar la temperatura de un lugar para lo cual se tuvo que modificar en parte el software para permitir ambas funciones en el mismo dispositivo de control.

Al emplear control difuso se logró obtener un resultado eficiente que permitió regular suavemente el funcionamiento del dispositivo ventilador y calefactor sin cambios bruscos de regulación y evitando los problemas de cálculo que se tendrían que emplear dado el cambio tan repentino del medio ambiente.

El objetivo de mejorar la temperatura ambiental empleando dispositivos de ventilación en lugar de aparatos de enfriamiento de aire por medio de la máquina de Carnot, puede ser cumplido considerando el ahorro de energía en la utilización de sistemas de ventilación individuales o locales según la temperatura de un lugar determinado adecuándose a cada atmósfera interna. Además de no afectar drásticamente como en el caso los tipos de sistemas de enfriamiento y circulación de aire frío cuya humedad fue afectada secándose excesivamente y causando las correspondientes enfermedades respiratorias o dificultad para respirar.

Respecto de los sistemas basados en el control de humedad para afectar la temperatura ambiental de un lugar determinado, estos sistemas resultan ser de un costo considerablemente mayor dados sus componentes y tipo de control, además de que su regulación permite actuar en un rango de humedad comprendido entre 25% y 85% ya que porcentajes de humedad menores al 25% pueden afectar las vías respiratorias y porcentajes mayores a 85% dificultan la respiración, todo esto explicado ampliamente en la presente tesis (capítulo I), por lo cual se apartan en mayor rango quizá del aspecto natural de ventilación y enfriamiento de aire causando o incrementando otros problemas como los son no permitir una ventilación que se requiera para expulsar aire viciado y malos olores en la atmósfera ya aclimatada por la humedad ya que un movimiento de aire considerado cambiaría dicho control de humedad, etc. Es así como la temperatura puede regularse de una forma con la sola ventilación del lugar considerando la atmósfera que se requiere obtener. Cabe recordar que la ventilación en clima húmedo resulta ser la forma más óptima de funcionamiento para mantener un ambiente soportable y agradable al cuerpo humano. No por nada existen las corrientes de aire a nivel del mar por la noche o tarde que refrescan en mucho a los paseantes de los malecones y de las calles de la ciudad de los puertos o zonas de mar que resultan ser sumamente húmedas, la presencia de agua y sol, además de efectos de radiación de lugares calientes hacia lugares fríos y de lugares oscuros a lugares claros, reafirman claramente la ventilación en climas húmedos.

La regulación de temperatura empleando ventilación se realiza de forma “suave” evitando los “picos” o pulsos durante el funcionamiento del dispositivo entre el cambio de función y apagado.

El empleo de un display de lectura permite la interrelación entre usuario y el dispositivo para un mejor entendimiento del dispositivo.

El empleo de un teclado con funciones accesibles y sin teclado numérico facilita la utilización o empleo del dispositivo por parte de los usuarios.

La posibilidad de emplear más ventiladores en paralelo al funcionamiento en un solo circuito mejora la posibilidad de realizar una mejor ventilación en todas las zonas de un lugar o habitación abarcando una mayor área de ventilación referenciándolos a un mismo nivel de temperatura ambiental adaptando un solo nivel de ventilación para toda la habitación.

Además de que en caso que se requiera mantener una sola temperatura en toda un área considerable puede optarse por manejar dispositivos individuales en cada sitio adaptándose mejor la temperatura de cada cuarto o habitación.

La función de aclimatar a exterior sirve para permitir aclimatar un ambiente doméstico a la temperatura exterior esto para poder aclimatar el cuerpo humano lentamente a la temperatura que se encuentra en el exterior del cuarto o habitación, logrando evitar así los cambios repentinos de temperatura por descuido o negligencia ante la temperatura externa y que provocan en la mayoría de los casos que las personas se enfermen tan comúnmente sobre todo cuando existe un cambio “brusco” entre un clima a temperatura caliente a otra temperatura que se encuentra fría, ya que como se observó en el primer capítulo de esta tesis el reajuste o aclimatación al frío por parte del organismo consiste en evitarlo dado el daño al funcionamiento del organismo ante el frío y primordialmente ante los efectos letales que pueden producirse con esto.

6.4. CONCLUSIONES.

Los objetivos que se señalaron al inicio de esta tesis se lograron cumplir, añadiendo a su vez funciones de aclimatación de una atmósfera no solo disminuyendo la temperatura local de un lugar y sirviendo fundamentalmente como aclimatador propio para el organismo humano, sino también aumentando dicha temperatura por medio de un calefactor regulado por el mismo dispositivo de control.

El dispositivo final fomenta el empleo de sistemas de aclimatación basados en sistemas de ventilación controlada fundamentalmente por lógica difusa dado que se trata de un sistema no lineal además de no emplear el uso de aire acondicionado para la ambientación del cuerpo humano dejándose el uso de este último dispositivo para el caso de refrigeradores y contenedores para mantener la temperatura estable en el caso de alimentos y artículos que requieren estar a temperaturas bajas.

Otra aportación fundamental es el efecto de aire variable que provoca el control del ventilador con lo que se logra una variación del aire circulante y se evita así que se induzca decaimiento de actividad humana en el organismo a causa de la monotonía de funcionamiento y circulación de aire típica de un ventilador, ayudando a no percibir sueño o acostumbamiento del organismo al giro del motor del ventilador que incluso en ocasiones llega a inducir molestia ante los aparatos de ventilación.

La temperatura seleccionada por el usuario (temperatura agradable al usuario) sigue así con el fin de poder lograr la comodidad humana en una atmósfera diferente de la atmósfera exterior regulada naturalmente recreando las condiciones que permitan dicha regulación de temperatura y la consiguiente temperatura agradable al usuario. Cabe hacer mención que la temperatura agradable estándar de 20°C es un promedio entre las diferentes personas, pero indudablemente cada organismo humano posee su propia temperatura agradable a la que le gusta mantener su cuerpo humano

dependiendo de los aspectos fisiológicos de cada persona descritos al inicio de esta tesis por lo que con este dispositivo existe la posibilidad de calibrar este valor por parte del usuario particularmente.

Las funciones de poder observar constantemente la lectura de temperatura interna, externa y agradable, esta última establecida por el usuario permiten observar la condición de temperatura existente constantemente y en tiempo real con la consiguiente determinación de actividades a realizar. (colocarse o no chamarra para salir al exterior), ropas a emplear, etc.

La operación de detener el funcionamiento de un sistema de este tipo con un solo botón permite corregir funciones de aclimatación o valores iniciales para el proceso a emplear manteniendo detenido el funcionamiento del dispositivo o ante alguna causa repentina necesaria por el usuario además de permitir establecer que dicho botón sea activado ante otras causas de mal operación de dispositivos o por control remoto, funciones que se incorporarían en el futuro a este dispositivo en proceso de mejoramiento.

La eficiencia del circuito manifiesta un comportamiento que se logra adaptar a los cambios radicales de temperatura, su tiempo máximo aproximado de respuesta es de 1s dependiendo del cambio radical que se le exija por lo que su nivel de comportamiento manifiesta un sistema estable en el rango de temperatura ambiental para el que fue diseñado.

El sistema en general manifiesta un ahorro de energía al mantener un nivel bajo de control de potencia requerido para cada situación en que es empleado, manifestando una diferencia radical entre el dispositivo ventilador comercial común y el calefactor común que requieren de una gran potencia para su operación debido a su control basado en termostato y se obtiene un consecuente gasto de energía al emplear este tipo de dispositivos. Cosa diferente cuando se emplea el controlador difuso con los dispositivos de ventilación y calefacción, ya que el sistema de control consume alrededor de 600mA para su operación y en la etapa de potencia se obtiene desde el valor máximo de consumo de potencia del ventilador y calefactor hasta su valor mínimo de 25W a 50W lo que equivale a una pérdida de hasta 400mA en estado de potencia mínima. Lo que equivale a 1000mA de empleo del sistema como valor mínimo. Por lo que el sistema aunque consume mayor energía que la activación de un termostato, el valor de ahorro de energía se observa durante el funcionamiento del dispositivo donde propiamente el ahorro es de una cantidad de corriente considerable comparada con la que emplea un dispositivo activado fijamente manejado por un usuario directamente o por termostato.

La realización de esta tesis me permitió observar el proceso de planeación de un proyecto de realización y las diversas etapas de desarrollo, así como también las dificultades y experiencias adquiridas para lograr el óptimo y correcto funcionamiento del dispositivo, planteado desde una idea simple, verificando su viabilidad de funcionamiento de la misma, hasta la culminación de la idea planteada en primer término.

Las experiencias adquiridas son múltiples y cada punto de desarrollo del proyecto determinó emplear las características más indicadas para el correcto funcionamiento de dicho proyecto, algunas de dichas experiencias se relatan a continuación con el afán de beneficiar el quehacer técnico de la elaboración de proyectos relacionados con el área de desarrollo:

- 1) Para el circuito de disparo del TRIAC se tuvieron que determinar varias formas de realización y obtención del pulso final de disparo por medio de un filtro de C.D. ya que existía cierto ruido al conectar el dispositivo final a la etapa de potencia.

- 2) Una vez elegido el diagrama final se determinó unir ambas señales de ángulo de disparo por medio simple sin la utilización de un amplificador operacional o transistor alguno, mandando ambas señales de salida a un capacitor en serie con la señal proveniente para filtrar picos de voltaje y corriente directa dejando de lado la posibilidad de ruido que se filtrara al TRIAC y no permitiera un control óptimo.
- 3) Las fuentes de regulación se observó que tuvieron que modificarse para no ser simétricas ya que ello dado la corriente interna de consumo de funcionamiento de los AMPLIFICADORES OPERACIONALES disminuía en un volt la rampa obtenida para regularla o “cortarla” posteriormente por medio del voltaje analógico proveniente del DAC, por lo que se observó que un aumento de solo 0.5V para la fuente negativa compensaba dicha regulación permitiendo que la conversión en el comparador inicial fuera la correcta y se obtuviera la rampa requerida de 5V.
- 4) El empleo de comparadores para convertir la señal senoidal de la línea a señal cuadrada no manifiesta un buen funcionamiento dado que al conectar la salida de un comparador a un amplificador operacional para obtener la señal diente de sierra, ocasiona alteraciones debido a la diferencia de slew-rate entre ambos afectando el ángulo de disparo en lugar de beneficiarlo.
- 5) Existía un inconveniente debido a haber filtrado la señal de DC por el capacitor en serie, ya que cuando la señal de AC se anulaba debido a que el voltaje de DC era de 0V, no existía un corte de la rampa y los pulsos respectivos por lo tanto no eran generados por lo que el valor mínimo antes de desaparecer el pulso era de 0.9 V valor máximo de corte y donde genera la máxima potencia el generador y verificando que no existe una diferencia real entre el funcionamiento del ventilador a 0V de DC y a 0.9V de DC causado por el slew rate del A.O., se determinó realizar una fuente de voltaje de dicho valor que actuara para cuando el voltaje de DC. proveniente del DAC fuera 0V y en cuyo caso, cuando se sobrepasara dicho voltaje se utilizara el voltaje proveniente del DAC generando dicha fuente de voltaje con dos resistencias en serie de la fuente positiva a tierra con las resistencias de 12KOHMS en serie con otra resistencia de 2KOHMS y un diodo en serie con el voltaje intermedio entre ambas resistencias, así como también otro diodo en serie con la señal proveniente del DAC no teniendo una pérdida de voltaje considerable en la caída de los diodos debido a la alta impedancia de entrada del amplificador operacional, aunque también debido a la alta impedancia del amplificador operacional existía “tierra flotante” o “tierra virtual” en el punto de unión entre ambos diodos para lo cual se tuvo que colocar una resistencia de un valor muy grande para poder conseguir así una conexión a tierra que lograra activar los diodos y hacer funcionar el dispositivo.
- 6) El dispositivo requirió además emplear un disipador de calor para los TRIAC'S que llega a medir 2cm^2 por ampere utilizado y espesor de 2cm con aletas de ventilación, por lo que en el caso de 10A de empleo y 127 V de C.A. se requiere de un disipador de 10cm^2 y espesor de 2cm ó 15cm^2 y espesor de 2cm, para disipar entre 25W y 50W. El disipador elegido fue de $4\text{cm} \times 8\text{cm} = 32\text{cm}^2$ debido al tamaño físico del disipador y 2cm de espesor para disipar hasta 100W sin ningún problema .
- 7) El programa PCBUG11, emplea parte de la memoria RAM para poder comunicarse con la computadora además en el caso del microprocesador MC68HC11F1 esta comunicación abarca por lo regular desde la dirección 0 a la dirección 100 en

hexadecimal como es común, sin embargo a medida que crece el programa empleado el microprocesador requiere de mayor comunicación reduciendo la memoria RAM disponible para utilizarse desde la dirección \$200 en adelante, ya que direcciones de memoria de inicio de programa menores, representaba un problema de comunicación o problemas menores pero que afectaban al proceso, determinándose así que el inicio del programa en la dirección 200 representaba un buen espacio de comunicación con un funcionamiento óptimo con lo que se hace necesario el empleo de la memoria eeprom para el caso de almacenar los datos del programa de control difuso propiamente. Cabe destacar que lo anterior depende del tipo de procesador empleado ya que para procesadores mayores a Pentium 3 se hace necesario probar en primera instancia la versión mas actualizada del pbug11 la versión 3.42 (1994), mientras que para los procesadores menores como en el caso de pentium1 o incluso 486, se manifestaron mejores formas de funcionamiento con la primera versión del programa PCBUG11 la versión 3.24a (1991).

- 8) Cuando se agregaron las rutinas de teclado, se observó que dicho programa total no alcanza en tamaño a almacenarse por lo que optó por emplear una memoria RAM externa de mayor tamaño en funcionamiento del dispositivo mientras se hacían las evaluaciones del programa diseñado.
- 9) En el empleo del diseño impreso se observó que en el área de potencia algunas pistas no cubrían la dimensión requerida para la corriente que circularía por los TRIAC'S y existían problemas de corrientes parásitas en esta zona por lo que se determinó manejar cable conductor para los TRIAC'S directamente de la línea eléctrica y un cable pequeño de la línea residencial hacia el impreso para el disparo de compuerta de los TRIAC'S.

6.5. ASPECTOS PARA INCREMENTAR LA EFICIENCIA DEL DISPOSITIVO FINAL.

Para poder mejorar el proceso se podría emplear el código desarrollado en un PIC con la finalidad de reducir las partes electrónicas o en un circuito de la familia de microcontroladores como el 68HC705J2 que contiene 2K de EPROM o el 68HC705E1 con 4k de EPROM ya que se adaptarían mejor al tamaño que se requiere que contenga el dispositivo final ya que cabe recordar que lo que imperó para elegir el MC68HC11 fue evaluar un prototipo y que en caso que se requiriera mayor capacidad de memoria, emplear una eeprom de hasta 32K o una RAM de capacidad mucho muy superior y después eficientar el proceso empleando otro circuito menor.

En el caso del display se implementaría para comunicación y envío de datos por medio de cuatro bits reduciendo el número de bits empleados. En la parte del circuito electrónico empleado hoy en día existen chips pequeños con todo el contenido del circuito de disparo en un solo encapsulado con lo que se puede reducir también el tamaño del mismo y para el caso de las fuentes de voltaje emplear fuentes "switchadas" de modulación para obtener menor tamaño o en tal caso emplear pilas recargables para alimentar el dispositivo y un transformador muy pequeño para la obtención de sincronización de la señal de A.C. Además de suplir con un zenner al circuito derivación de voltaje mínimo de funcionamiento para el circuito de disparo de los TRIAC'S.

En el caso de que se utilice este dispositivo para comandarse por medio de la temperatura corporal de la superficie del cuerpo tomando con la mano el sensor de temperatura, podría mejorar el proceso de envío de información modulando la señal del sensor y enviar los datos por radiofrecuencia evitando el cable de comunicación entre el sensor y el controlador que actúa para el ventilador y el calefactor.

BIBLIOGRAFÍA.

1. *HUMEDAD Y TEMPERATURA EN LOS EDIFICIOS*
MAURICE CROISSET
EDITORES TÉCNICOS ASOCIADOS S.A.
IMPRESO EN BARCELONA ESPAÑA
2ª EDICIÓN AÑO 1976
CAPITULOS I Y II
PAGINAS 15 – 40
CLASIFICACIÓN UNAM TH7223 C75.
- 2.- *GUÍA PRÁCTICA DE LA VENTILACIÓN*
W. C. OSBORNE
C.G. TURNER
EDITORIAL BLUME
BARCELONA MADRID
1ª EDICIÓN AÑO 1970
CAPITULOS I – IV
PAGINAS: 41 – 44, 121 – 124, 175 – 186, 204 – 205, 242 – 247, 276 – 296, 302 – 329.
CLASIFICACIÓN UNAM
- 3.- *FISIOLOGÍA APLICADA*
SAMSON WRIGHT
ED MARÍN S.A.
IMPRESO EN
EDICION
CAPITULO REGULACIÓN DE LA TEMPERATURA CORPORAL.
PÁGINAS: 49, 198, 253, 274 – 284, 408, 468, 629 Y 615.
CLASIFICACIÓN UNAM QP34 W72.
- 4.- *INGENIERÍA DE CONTROL MODERNA*
OGATA KATSUHIKO
ED. PRENTICE HALL HISPANOAMERICANA S.A.
IMPRESO EN MÉXICO
2ª EDICIÓN. 1993
CAPÍTULOS I
PÁGINAS: 1 - 7
CLASIFICACIÓN UNAM TJ 213 O322
- 5.- *ACONDICIONAMIENTO DE AIRE*
EDWIN G. PITA
EDITORIAL CONTINENTAL S.A. DE C.V.
IMPRESO EN MÉXICO
2ª EDICIÓN EN INGLÉS, 1ª EDICIÓN EN ESPAÑOL AÑO 1997
CAPITULOS: I – 15.
PAGINAS: 1, 2, 9, 136, 152, 154, 155, 178, 182 – 188, 280 – 307, 393 – 395, 541 Y 542.
CLASIFICACIÓN UNAM TK7687 P5818

6.- *TIRISTORES Y TRIACS**HENRI LILEN*

EDITORIAL MARCOMBO ALFAOMEGA

IMPRESO EN ESPAÑA

1ª EDICIÓN AÑO 1996

CAPITULO 17

PÁGINAS: 166 – 173.

CLASIFICACIÓN UNAM TK7871.99 T5 L53

7.- *MANUAL DE REFERENCIA MASTER GUIDE MOTOROLA**MOTOROLA INC.*

IMPRESIÓN EN E.U.A.

2ª EDICIÓN 1992

CAPITULOS I, II, III, IV, V.

PÁGINAS REFERENTES A CAPITULOS.

8.- *MANUAL NATIONAL SEMICONDUCTOR:**NATIONAL ANALOG AND INTERFACE PRODUCTS DATABOOK**NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION*

IMPRESIÓN EN E.U.A.

EDICIÓN 2001.

CAPITULOS I, II, III, V, VI, VIII, XII Y XVI.

VARIAS PÁGINAS REFERENTES A CAPÍTULOS.

9.- *FUZZY LOGIC AND CONTROL**MOHAMMAD JAMSHIDI*

NADER VADIEE

TIMOTHY J. ROSS

EDITORIAL PRENTICE - HALL

IMPRESO EN EUA AÑO 1993

CAPITULO I

PAGINAS 2 – 7.

CLASIFICACIÓN UNAM TJ217 F89

10.- *FUZZY ENGINEERING**BART KOSKO*

EDITORIAL PRENTICE – HALL

IMPRESO EN EUA AÑO 1997

CAPITULOS I Y II

PAGINAS

CLASIFICACIÓN UNAM TJ217.5 K67

MANUALES Y NOTAS DE APOYO:

Hojas de especificaciones de la configuración de mapas de memoria y puertos de la tarjeta FACIL_11B
Diseño de Tarjeta y Autoría del M.I. Antonio Salvá Calleja.

Manual pbug11.

Manual jbug11.

Hoja de especificaciones de datos del MC68HC11F1.

Funcionamiento del LCD display de cristal líquido.

Manual de ventiladores.

Norma NOM para aparatos electrónicos.

Normas IEEE para aparatos electrónicos y dispositivos eléctricos.

Actualizaciones del Control Difuso aplicado.

Hoja de especificaciones de datos del LCD 16 x 2 caracteres estándar.

PROGRAMAS:

Programa pbug11.

Programa jbug11.

Programa FUDGE.

Programa IASM11.

INTERNET:

http://www.soler-palau.com/index_fichas.html *

* GUIA DE VENTILACIÓN EN DONDE SE ABORDAN TEMAS DE CLASIFICACIÓN DE VENTILADORES, TIPOS, CLASES Y UTILIZACIÓN DE LOS MISMOS.

ANEXOS

A.1. CONTROL DE TEMPERATURA.

A.1.1. Aspectos de control.

Una variable controlada es una cantidad o condición que se mide y que hay que controlar, como son la temperatura, la humedad, la presión, etc. Esta se define como la entrada de un sistema. Hasta antes de manejar esta variable propiamente en el sistema de control se nombraría variable a controlar, pero una vez tomada en cuenta para utilizarse en el sistema de control se le nombra variable controlada.

Una variable manipulada es una cantidad o condición modificada por un controlador. Se define como la salida del sistema.

El término control se le nombra a la acción de comprobar, examinar, inspeccionar o revisar algo y regularlo, dirigirlo o comandarlo hacia algún objetivo dado. También puede definirse como la acción de medir un valor de una variable controlada de un sistema y aplicar al sistema la variable manipulada para corregir o limitar la desviación del valor medido, respecto al valor deseado.

Un sistema es un arreglo, conjunto o colección de cosas conectadas o relacionadas de manera que constituyan un todo. Un sistema de control “automático” es un arreglo de componentes conectados de tal manera que el arreglo se pueda comandar, dirigir o regular a si mismo o a otro sistema.

Una perturbación es una señal de entrada a un sistema indeseable que afecta el valor de la salida controlada.

A.1.2. Calor y temperatura.

El calor es una forma de energía que se transmite de un cuerpo a otro debido a una diferencia de temperatura entre ambos cuerpos. La 2da ley de la Termodinámica define que el calor fluye de un cuerpo de mayor temperatura hacia otro cuerpo de menor temperatura pero jamás en sentido contrario.

La temperatura es una medida de la actividad térmica de un cuerpo. La teoría cinética define que esta actividad depende de la velocidad de las moléculas y demás partículas de las cuales se compone toda la materia. La unidad de medición en el sistema SI (Sistema Internacional de Unidades) es el Kelvin y otra unidad de medida comúnmente usada es el grado centígrado.

En algunas ocasiones se confunde el significado de aire acondicionado, ventilación y aclimatación.

Aire acondicionado significa que se da suministro de aire a un lugar ocupado y es adaptado a las condiciones requeridas, limpieza, refrigeración, calefacción, secado y humidificación. Con estos procedimientos es posible normalizar cualquier clase de atmósfera, aunque a un precio sumamente considerable y sustancial, y con inconvenientes como la existencia de organismos dados en filtros o

en el sistema de distribución del aire, además de que regularmente no toman en consideración los aspectos de aclimatación por zonas de estancia dado que solo se emplea un solo sistema para toda una zona, regularmente estos se emplean en fábricas, centros comerciales, etc. en donde el sensor de temperatura maneja el aire acondicionado por sobre un valor de aclimatación y el resultado de ello es regular la temperatura de un lugar en forma única y sobre-enfriando algunas zonas del lugar y no logrando enfriar otras zonas a una temperatura requerida.

La ventilación implica suministro de aire fresco, la eliminación de los productos de contaminación y del calor, y también a un movimiento de aire para refrigerar y refrescar.

La aclimatación se refiere a lograr mantener un punto de temperatura requerida o calibrada ya sea superior o inferior a la temperatura ambiental externa manteniendo la temperatura que se seleccionó en un nivel estable.

En la mayoría de los casos la ventilación y la aclimatación, sin tratamiento de aire, darán un aire acondicionado satisfactorio. Esto se aplica particularmente en edificios industriales, ambientes domésticos, especialmente en aquéllos donde los procesos no requieren control de humedad ni eliminación de polvo de la atmósfera. No existe ninguna rígida demarcación entre la ventilación por sí misma y el acondicionamiento total de aire.

A.1.3. El aire acondicionado o aclimatador de temperatura.

Un dispositivo de aire acondicionado o aclimatador de temperatura ambiental conformado de cualquier tamaño consta de las partes propias de la máquina de calor y determinada por el funcionamiento del ciclo de Carnot, aunque existen sistemas con limpieza extra de aire, purificación y humidificación y/o ventilación. Pero todos los enfriadores de aire acondicionado actuales cuentan con los componentes de la máquina de calor como lo es propiamente compuesta de un compresor, un condensador, una válvula de expansión y un evaporador además de un fluido circulante que es el refrigerante dentro del sistema con características propias de cambio de fase a determinadas temperaturas requeridas por el sistema, siendo en principio de las primeras sustancias empleadas el gas freón que cambia de fase a vapor a -30°C lo que le confiere la posibilidad de absorber calor mientras se encuentra en estado líquido.

Un sistema de control de lazo abierto es aquel sistema en el que la salida no tiene efecto sobre la acción de control, es decir, la salida ni se mide ni se retroalimenta para compararla con la entrada. Por tanto para cada entrada de referencia corresponde una condición de operación fija. Así, la precisión del sistema depende de la calibración. En presencia de perturbaciones, un sistema de control de lazo abierto no cumple su función asignada. En la práctica el control de lazo abierto solo se puede utilizar si la relación entre la entrada y la salida es conocida plenamente, y si no se presentan perturbaciones tanto internas como externas en el sistema. Cualquier sistema de control que funciona sobre una base de tiempos, es un sistema de lazo abierto.

Un sistema con control retroalimentado es una operación que, en presencia de perturbaciones, tiende a reducir la diferencia entre la salida de un sistema y alguna entrada de referencia, realizándolo sobre la base de esta diferencia. Aquí se especifican las perturbaciones no previsible.

Un controlador es un dispositivo que percibe la señal de un cambio en la variable controlada y transmite una acción a un dispositivo controlado que corrige la condición de cambio, es decir, un controlador percibe una señal y transmite una acción basada en la señal.

Un control de temperatura “inteligente” implica el diseño de un controlador retro-alimentado que sea capaz de medir una variable controlada y manipular la variable de salida en comparación con el cambio en la variable controlada siendo nuevamente entrada del controlador.

A.2. FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA DE CARNOT

El evaporador es calentado por el aire caliente dentro de una habitación, dicho calor es transferido al fluido que circula internamente en el evaporador que se encuentra en estado de líquido a baja presión y a temperatura menor de -30°C . El fluido en estado líquido puede ganar calor hasta que cambie su fase a vapor, el compresor crea un vacío que hace salir el refrigerante del evaporador y lo dirige hacia el compresor, es aquí donde se le imprime presión al refrigerante para mandarlo hacia el condensador que se encuentra en la parte externa al cuarto a temperatura exterior al sistema (que idealmente debe encontrarse a temperatura menor inicialmente a la temperatura interior del cuarto), en la entrada del compresor se tiene el fluido en fase de vapor a baja presión. En el condensador se libera el calor que había ganado el fluido en el evaporador y el fluido cambia su estado de fase volviéndose líquido (esto ocurre mas rápidamente si la temperatura exterior es menor a la temperatura interior al cuarto, pero si sucede lo contrario, es decir que la temperatura exterior es superior a la temperatura interior del cuarto, el dispositivo no puede enfriar eficientemente y se requerirá mayor energía y trabajo por parte del dispositivo para lograr su objetivo), en la entrada del condensador se tiene vapor a alta presión y a la salida del condensador se tiene líquido a alta presión. En la válvula de expansión al fluido en estado líquido se le disminuye su presión con lo que a la salida de la válvula de expansión se tiene líquido a baja presión para que pueda circular lentamente el fluido por el evaporador y el calor del cuarto se transfiera hacia el fluido para que nuevamente cambie de fase a vapor y lo absorba el compresor para iniciar el ciclo nuevamente, por convección dentro del dispositivo a enfriar, el aire frío descende, el aire caliente asciende al evaporador y este último gana calor del dispositivo dado según lo establece la segunda ley de la termodinámica de que el calor fluye de caliente a frío.

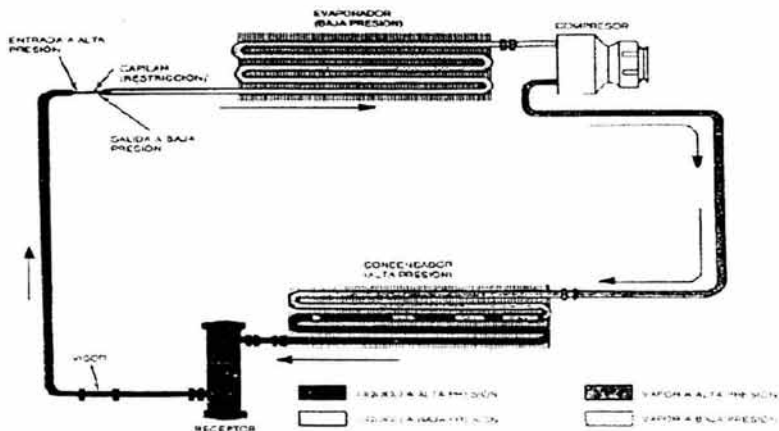


FIGURA 47a. FUNCIONAMIENTO DEL CICLO DE CARNOT

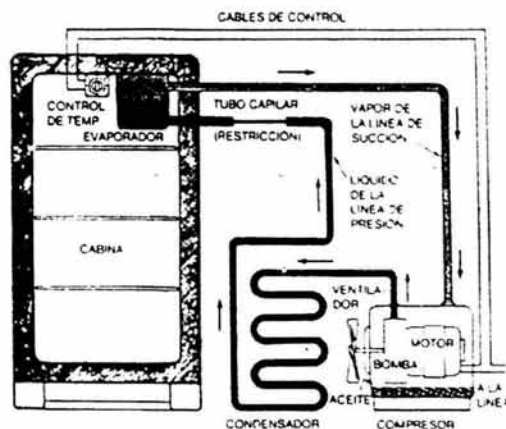


FIGURA 47b. FUNCIONAMIENTO DEL CICLO DE CARNOT EN LA MÁQUINA DE CALOR.

- 1) Aunque existen diferencias en los diversos sistemas de control de regulación de temperatura fundamentalmente los sistemas comerciales actuales se basan en conectar un interruptor cíclico básico para ajuste de la temperatura de aire a la que se requiere enfriar una habitación. "Que realiza ajuste a la temperatura requerida por medio de un tornillo conectado a una base que presiona a un muelle que conecta y desconecta por medio de dos contactos uno móvil y uno estacionario, el embrague del compresor. Conectando y desconectando el compresor según las necesidades".[LIBRO 1 BIBLIOGRAFÍA]

El interruptor cíclico termostático está conectado a su vez a un fuelle que sujeta a un tubo capilar y un bulbo que contiene un gas que se expande cuando aumenta la temperatura prefijada (que es el detector de temperatura). En tal caso el tubo se conecta entre las aletas del núcleo del evaporador o en la corriente de aire frío que sale por el mismo.

El tubo conduce a un interruptor accionado por un fuelle. A medida que se eleva la temperatura del aire, el gas contenido en el tubo se expande. El gas se desplaza por el tubo hasta llegar al fuelle y cierra los contactos eléctricos del interruptor, el cual hace que se acople el embrague del compresor. Cuando la temperatura en el evaporador está próxima al punto de congelación o al ajuste inferior del interruptor, los contactos se abren y se desacopla el embrague del compresor. El compresor permanece inoperante hasta que la temperatura del evaporador sube hasta alcanzar la temperatura preseleccionada. Entonces, los contactos se cierran y el embrague del compresor se acopla de nuevo.

Algunos interruptores cíclicos termostáticos que no disponen de mando de control de temperatura llevan un tornillo interno de ajuste. La posición de dicho tornillo puede ajustarse para modificar las temperaturas a las que se abre y se cierra el interruptor.

- 2) Un sistema de aire acondicionado para su funcionamiento se basa en las partes antes descritas en un sistema hermético, es decir, idealmente sin variar la masa del fluido, con los requerimientos de presión de fluido que se requiera en cada etapa y la variante permanente durante su funcionamiento en la válvula de expansión, no afectando los valores base para su

funcionamiento del sistema diseñado, de modo tal, que si se pretende regular la cantidad de flujo de refrigerante al evaporador regulando la administración del mismo en la válvula de expansión se conseguirá menor frío, pero cabe observar antes que ello que el frío se hace circular por medio de un ventilador para hacerlo transferirse por convección hacia las personas, pero dado que el organismo a alta temperatura corporal pierde el mayor calor por evaporación se obtendría un mal funcionamiento que se verifica en el grado de daño que se hace al cuerpo humano y obteniéndose un comportamiento similar al actual de los termostatos.

Una forma de solución a este tipo de control para aire acondicionado, sería el acople directo de la salida del controlador hacia un dispositivo transductor que moviera el tornillo del mando de ajuste de temperatura, tal como un motor de pasos para ajustar el muelle y consecuentemente la temperatura que se requiere que se apague el dispositivo conforme se alcanza la temperatura deseada, pero ello involucraría que el sistema no tuviera sensibilidad en el proceso para activarse y desactivarse con lo que el objetivo final no quedaría completamente alcanzado. Y no hay que olvidar que lo que se quiere regular es la temperatura ambiente a la que se somete el cuerpo humano y no el frigorífico donde se encuentran alimentos propios de una casa.

A.3. LOS VENTILADORES.

A.3.1. ¿Qué es un ventilador?

Un ventilador es una máquina rotativa que pone el aire, o un gas, en movimiento. Se puede definir como una turbo máquina que transmite energía para generar la presión necesaria para mantener un flujo continuo de aire.

Dentro de una clasificación general de máquinas, como muestra el cuadro al pie, los ventiladores se observan como turbo máquinas hidráulicas, tipo generador, para gases.

Un ventilador consta en esencia de un motor de accionamiento, generalmente eléctrico, con los dispositivos de control propios de los mismos: arranque, regulación de velocidad, conmutación de polaridad, etc. y un propulsor giratorio en contacto con el aire, al que le transmite energía.

Este propulsor adopta la forma de rodete con alabes, en el caso del tipo centrífugo, o de una hélice con palas de silueta y en número diverso, en el caso de los axiales.

El conjunto, o por lo menos el rodete o la hélice, van envueltos por una caja con paredes de cierre en forma de espiral para los centrífugos y por un marco plano o una envoltura tubular en los axiales. La envoltura tubular puede llevar una reja radial de alabes fijos a la entrada o salida de la hélice, llamada directriz, que guía el aire, para aumentar la presión y el rendimiento del aparato.

En los ventiladores del tipo hélico-centrífugo y en el transversal, el elemento impulsor del aire adopta una forma cercana al de los rodetes centrífugos.

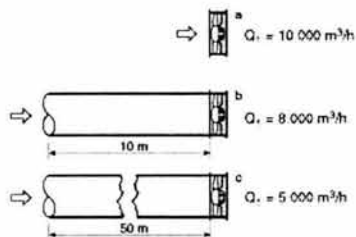


FIGURA 48. ESQUEMA DE UN VENTILADOR

A.3.2. Circulación del aire.

El aire circula por un conducto gracias a la diferencia de presión que existe entre sus extremos.

Para diferencias de nivel de hasta 100 m, velocidades inferiores a 50 m/s (caso que puede considerarse al aire como incompresible) y régimen estacionario, las presiones obedecen al siguiente teorema:

A.3.3. Teorema de Bernoulli.

La expresión analítica del mismo dice:

La suma de la presión estática, la dinámica y la debida a la altura, es constante para todos los puntos de un filete de fluidos.

A.3.4. Presiones.

Si el conducto es horizontal, o la diferencia es inferior a 100 metros, la presión por diferencia de altura es cero.

La presión estática P_e actúa en todos sentidos dentro del conducto. Se manifiesta en el mismo sentido y en el contrario de la corriente. La presión dinámica P_d actúa en el sentido de la velocidad del aire. La presión total P_t es constante en todos los puntos del filete de fluido considerado y su expresión es:

$$P_t = P_e + P_d$$

A.3.5. Caudal.

Es la cantidad de aire que circula por el conducto. Su expresión es:

$$Q = v S \text{ (m}^3\text{/h)}$$

En la Fig. 49 se ha representado un tramo de conducto horizontal de aire (considerado sin pérdidas, para simplificar), recorrido por el caudal Q (m³/h), con la velocidad v (m/s) y de Sección S (m²). Una Sonda de Presión estática P_e y un Tubo de Prandtl nos da la Presión Dinámica. Las fórmulas de relación de todos estos parámetros se indican en la misma figura.

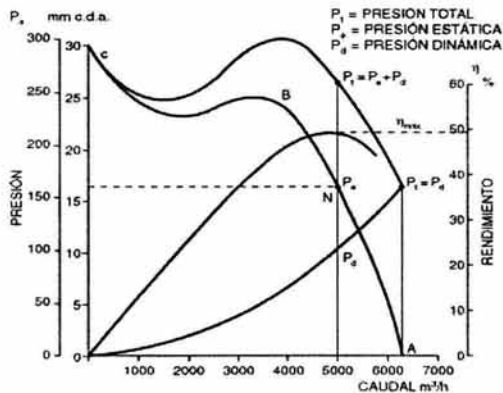


FIGURA 49. CAUDAL, VELOCIDAD Y PRESIONES

A.3.6. Curva característica.

Es la representación gráfica de todos los estados caudal-presión de que es capaz un ventilador. Su representación en la Fig. 50 muestra una Curva Característica típica con expresión de las tres presiones mencionadas. Para cualquier ordenada en la gráfica, se cumple:

$$P_t = P_d + P_e$$

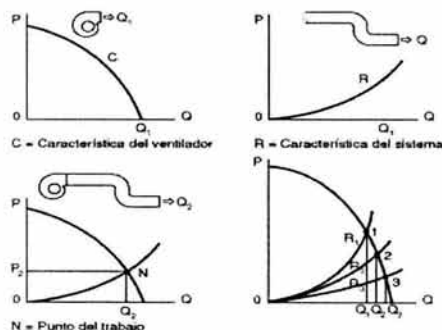


FIGURA 50. CURVA CARACTERÍSTICA DE UN VENTILADOR Y DE UN SISTEMA DE VENTILACIÓN.

A.3.7. Tipo de curva característica.

Según sea el ventilador, su curva característica adopta una u otra forma primando el concepto de caudal sobre el de presión o viceversa.

En los ventiladores helicoidales, axiales, en comparación con el caudal de que son capaces, sus posibilidades de presión son discretas. Los ventiladores centrífugos, en general, son capaces de presiones altas con caudales más bien bajos y los ventiladores hélico-centrífugos participan de ambas posibilidades de caudal y presión, si bien no en la medida que se especifica de los otros.

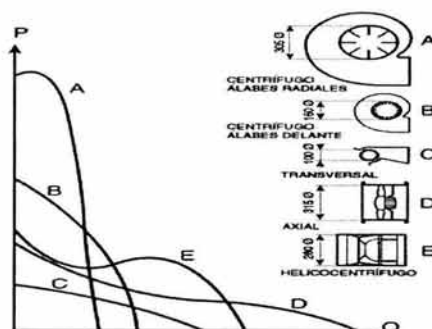


FIGURA 51. CURVA CARACTERÍSTICA DE 5 TIPOS DE VENTILADORES.

A.4. CLASIFICACIÓN DE LOS VENTILADORES ATENDIENDO A SU FUNCIÓN.

A.4.1. Ventiladores con envolvente.

Suele ser tubular. A su vez pueden ser:

Impulsores: Entrada libre, salida entubada.

Extractores: Entrada entubada, descarga libre.

Impulsores-Extractores: Entrada y salida entubadas (Fig. 52).

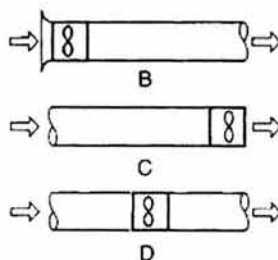


FIGURA 52. VENTILADORES CON ENVOLVENTE

A.4.2. Ventiladores murales.

Aparatos comúnmente empleado como extractores de aire dado su diseño delgado permiten colocarse ocupando el espacio delgado de una pared o entre una ventana del cuarto a ventilar.

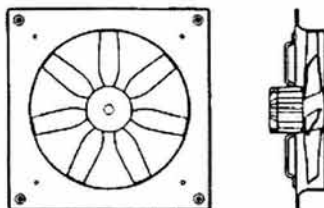


FIGURA 53. VENTILADORES MURALES

A.4.3. Ventiladores de chorro.

Aparatos usados para proyectar una corriente de aire incidiendo sobre personas o cosas.

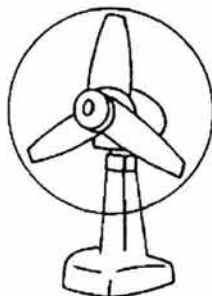


FIGURA 54. VENTILADORES DE CHORRO.

A.5. CLASIFICACIÓN DE LOS VENTILADORES ATENDIENDO A LA TRAYECTORIA DEL AIRE.

A.5.1. Ventiladores centrífugos.

En estos aparatos la trayectoria del aire sigue una dirección axial a la entrada y paralela a un plano radial a la salida. Entrada y salida están en ángulo recto.

El rodete de estos aparatos está compuesto de alabes que pueden ser hacia ADELANTE (Fig. 55a), RADIALES (Fig.55b) o ATRÁS (Fig. 55c).

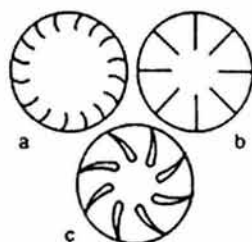


FIGURA 55. VENTILADORES CENTRÍFUGOS.

A.5.2. Ventiladores axiales.

La entrada de aire al aparato y su salida siguen una trayectoria según superficies cilíndricas coaxiales. Los ventiladores descritos en A.4.1, A.4.2 y A.4.3 pueden ser, también, axiales.

A.5.3. Ventiladores transversales.

La trayectoria del aire en el rodete de estos ventiladores es normal al eje tanto a la entrada como a la salida, cruzando el cuerpo del mismo. Fig. 56.

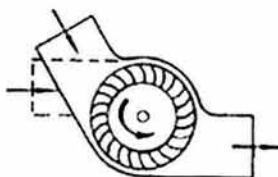


FIGURA 56. VENTILADORES TRANSVERSALES.

A.5.4. Ventiladores hélico-centrífugos.

Son aparatos intermedios a los A.5.1 y A.5.2: El aire entra como en los axiales y sale igual que en los centrífugos. Fig. 57.

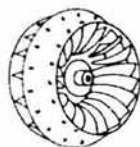


FIGURA 57. VENTILADORES HÉLICO-CENTRÍFUGOS.

A.6. CLASIFICACIÓN DE LOS VENTILADORES ATENDIENDO A LA PRESIÓN.

A.6.1. Ventiladores de baja presión.

Se llaman así a los que no alcanzan los 70 Pascales. Suelen ser centrífugos y por autonomía se designan así los utilizados en climatizadores. Fig. 58.

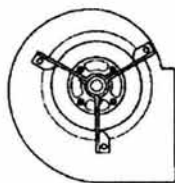


FIGURA 58. VENTILADORES DE BAJA PRESIÓN

A.6.2. Ventiladores de mediana presión.

Si la presión está entre los 70 y 3.000 Pascales pueden ser centrífugos o axiales.

A.6.3. Ventiladores de alta presión.

Cuando la presión está por encima de los 3.000 Pascales. Suelen ser centrífugos con rodets estrechos y de gran diámetro.

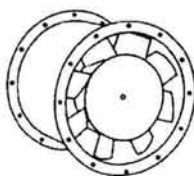
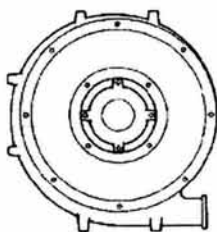


FIGURA 59. VENTILADORES DE ALTA PRESIÓN.

A.7. CLASIFICACIÓN DE LOS VENTILADORES ATENDIENDO A LAS CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO.

A.7.1. Ventiladores estándar.

Son los aparatos que circulan aire sin cargas importantes de contaminantes, humedad, polvo, partículas agresivas y temperaturas máximas de 40° si el motor está en la corriente de aire.

**FIGURA 60. VENTILADORES ESTÁNDAR**

A.7.2. Ventiladores especiales.

Son los diseñados para tratar el aire caliente, corrosivo, húmedo etc. o bien para ser instalados en el tejado (Fig. 61) o dedicados al transporte neumático.

**FIGURA 61. VENTILADORES ESPECIALES.**

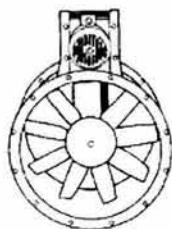
A.8. CLASIFICACIÓN DE LOS VENTILADORES ATENDIENDO AL SISTEMA DE ACCIONAMIENTO.

A.8.1. Accionamiento directo.

Cuando el motor eléctrico tiene el eje común, o por prolongación, con el del rodete o hélice del ventilador.

A.8.2. Accionamiento por transmisión.

Como es el caso de transmisión por correas y poleas para separar el motor de la corriente del aire (por caliente, explosivo, etc.). Fig. 62.

**FIGURA 62. ACCIONAMIENTO POR TRANSMISIÓN.**

A.9. CLASIFICACIÓN DE LOS VENTILADORES ATENDIENDO A LAS PRESTACIONES DEL CONTROL.

Es el caso de ventiladores de velocidad variable por el uso de reguladores eléctricos, de compuertas de admisión o descarga, modificación del caudal por inclinación variable de los alabes de las hélices, etc. Fig. 63.

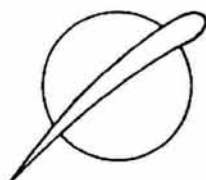


FIGURA 63. ATENDIENDO AL CONTROL DE LAS PRESTACIONES.

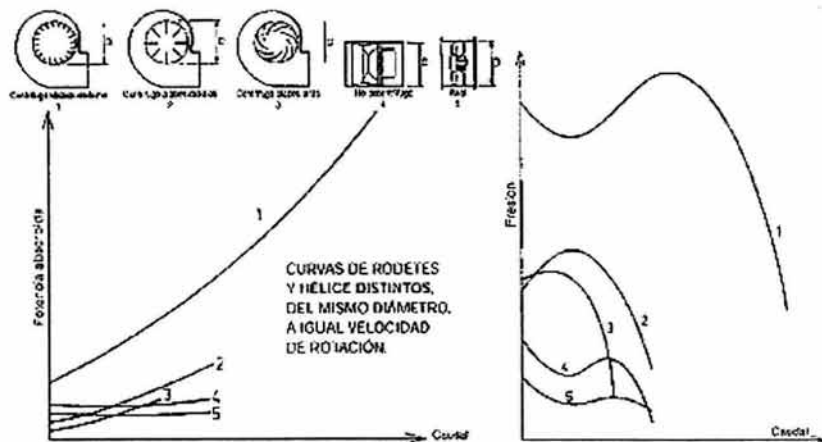


FIGURA 64. ATENDIENDO AL CONTROL DE LAS PRESTACIONES.

A.10. ZONA DE FUNCIONAMIENTO.

Según sea el ventilador, tipo y tamaño, existe una zona de su curva característica en la que es recomendable su uso. Fuera de ella pueden producirse fenómenos que hacen aumentar desproporcionadamente el consumo hundiendo el rendimiento, provocando un aumento intolerable del ruido e incluso produciendo flujos intermitentes de aire en sentido inverso.

En los catálogos de ventiladores vienen indicadas las zonas de la curva característica.

Recomendadas de uso o, simplemente, solo se publica el tramo de curva en el que es aceptable su funcionamiento. En general la mencionada zona abarca la superficie sombreada que se indica en la Fig. 65 para una familia de curvas de un aparato a varias velocidades.

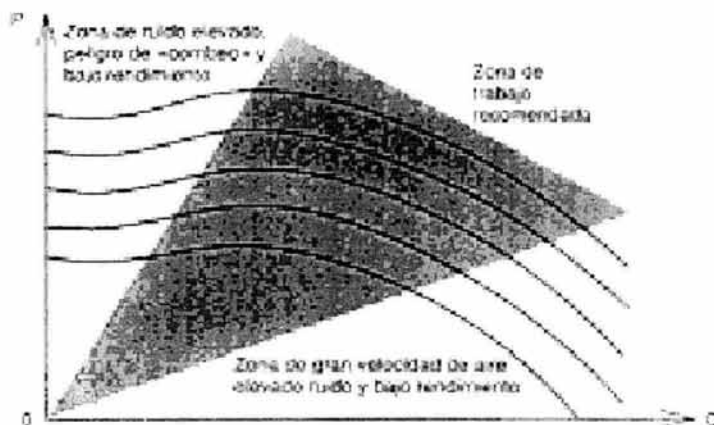


FIGURA 65. ZONA RECOMENDABLE DE FUNCIONAMIENTO.

Las gráficas de la Fig. 66 son las de ventiladores centrífugos con rodetes Adelante, Radiales y Atrás con indicación de la zona normal de trabajo y en porcentajes de caudal y presión.

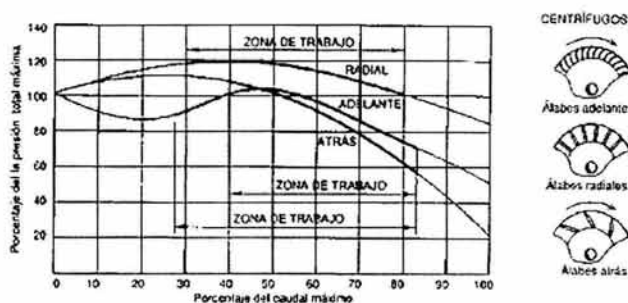


FIGURA 66. VENTILADORES CENTRÍFUGOS CON RODETES ADELANTE, RADIALES Y ATRÁS

Las de la Fig. 67 representan ventiladores axiales, impulsor uno y tubular el otro, de mediana presión, con las mismas indicaciones descritas para los aparatos anteriores.

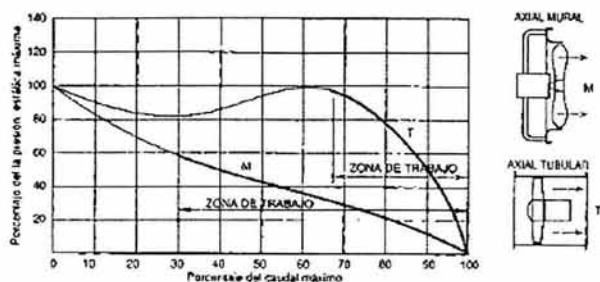


FIGURA 67. VENTILADORES AXIALES.

Los de la Fig. 68 corresponden a rodetes hélico-centrífugos y transversales con la misma forma de expresar su capacidad de presión y caudal en porcentaje del total y con las zonas normales de trabajo.



FIGURA 68. RODETES HÉLICO-CENTRÍFUGOS Y TRANSVERSALES.

A.11. MOTORES MONOFÁSICOS DE CORRIENTE ALTERNA.

Motores de repulsión.

Estos motores tiene un solo bobinado de excitación y un rotor bobinado con escobillas que lo cortocircuitan. La velocidad y sentido de rotación dependen de la posición del eje y de las escobillas. Se usa a menudo para motores de ventilador y se pueden obtener de pequeño tamaño y potencias fraccionales. Motores de poca potencia pueden conectarse a la red de alimentación, mientras que los motores de más potencia deben prepararse para que exista un voltaje reducido en el arranque. Esto se logra o bien con un auto transformador, o una bobina en serie o una resistencia en serie ver la siguiente figura. En algunos motores el arranque y la regulación de la velocidad, se logran moviendo la dirección de la escobillas.

El par de arranque es muy elevado. El motor genera interferencias radioeléctricas que deberían suprimirse.

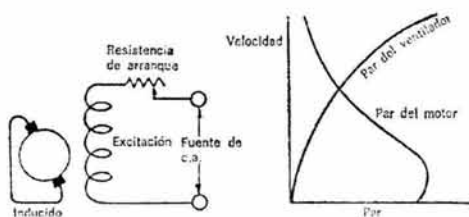


FIGURA 69. MOTOR DE REPULSIÓN Y CARACTERÍSTICAS

Motores monofásicos con excitación en serie.

Los motores de frecuencia fraccional de este tipo se conocen como motores universales, puesto que pueden funcionar tanto en corriente alterna c.a. como en corriente continua c.c. . Sus características de velocidad y par son similares a las de un motor de c.c. con excitación en serie; el mismo motor girará a más velocidad en c.c. a la misma tensión en c.a.. Se usa algunas veces para impulsar ventiladores cuando se necesitan velocidades superiores a la sincrónica de c.a., o bien en el caso de que deba funcionar independientemente c.a./c.c. y no es necesario tener la misma velocidad en ambos casos, ya que si esto es necesario se puede hacer funcionar a diferentes tensiones.

En el caso de ventiladores el ajuste de velocidad se puede obtener con una resistencia en serie.

A velocidades inferiores a 500 r.p.m. la conmutación deja mucho que desear al funcionar en c.a. Por este motivo estos motores sólo se usan en potencias fraccionales y alta velocidad; suelen usarse en servicio intermitente. El arranque se efectúa conectándolos directamente a la red, siendo su par de arranque elevado.

Interferencias radioeléctricas son emitidas continuamente por este motivo deben colocarse elementos antiparasitarios.

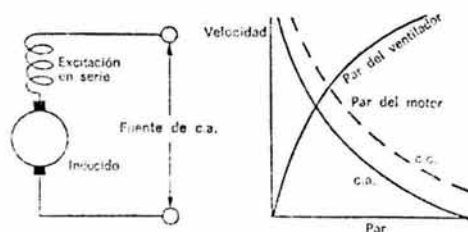


FIGURA 70. MOTOR CON EXCITACIÓN EN SERIE Y CARACTERÍSTICAS.

Motores de inducción con condensador

Este motor tiene un estator con dos arrollamientos; la fase (eléctrica) de uno de ellos está dirigida

Prácticamente 90° respecto a la fase del otro bobinado. Esto se obtiene intercalando un condensador permanente en serie con uno de ellos. El rotor está construido en jaula de ardilla. Las características de este motor son muy buenas y similares a las de un verdadero motor bifásico. El factor de potencia es muy elevado y es un excelente impulsor de ventiladores.

Motores de este tipo, especialmente estudiados, permiten obtener una limitada regulación de velocidad en función de la carga del ventilador. Este resultado se obtiene regulando la tensión del estator mediante un autorregulador o bobina en serie. Una reducción de velocidad del 50 % puede ser obtenida de esta forma. Dos velocidades se pueden obtener mediante un arrollamiento o cambio del número de polos. Este motor suele manufacturarse para potencias fraccionales y pequeñas, aunque motores para 10 CV también se han fabricado.

La inversión en el sentido de la rotación se puede obtener fácilmente invirtiendo las conexiones de uno de los arrollamientos del estator.

El arranque de los motores pequeños suele efectuarse conectándolos directamente a la red. El constructor elige el condensador buscando una solución de compromiso entre un condensador que permita el arranque y uno para el funcionamiento normal; La elección de un solo condensador obliga a tener un par de arranque inferior al que se puede obtener idealmente.

Los motores de mayor potencia llevan doble condensador, uno de los cuales se usa siempre en el período de arranque, obteniéndose así un par mayor. Cuando el motor gira a su velocidad normal este condensador se desconecta y el motor gira con un solo condensador elegido para funcionamiento óptimo. El motor con dos condensadores no es apropiado para regulación de velocidad. Los condensadores deben ser de muy buena calidad, se usan generalmente de papel. Para motores de gran potencia pueden ser conveniente reducir el voltaje en el momento de arranque mediante un auto transformador, una bobina en serie o una resistencia en serie. Este motor no genera interferencias radioeléctricas.

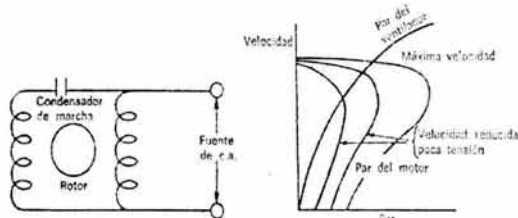


FIGURA 71. MOTOR DE INDUCCIÓN CON CAPACITOR Y CARACTERÍSTICAS.

Motores de inducción con arranque a condensador

Este motor es generalmente similar al del párrafo anterior, pero el condensador y bobinado adicional sólo se usan en el arranque, después del cual se desconectan mediante un relé o interruptor, muy a menudo de tipo centrífugo montado en el árbol del rotor. Entonces este motor gira como de inducción monofásico.

El condensador es de tipo electrolítico para uso intermitente. El motor es normalmente de velocidad constante. Cambio de sentido de giro puede obtenerse invirtiendo las conexiones del bobinado de arranque. El par de arranque es muy elevado, con su corriente de arranque asimismo elevada.

Este motor es menos indicado para impulsar ventiladores que el anterior. Su velocidad no puede ser regulada, pues una reducción de la misma causaría la reconexión del condensador de arranque, lo cual produciría un excesivo calentamiento de los bobinados.

Su rendimiento y factor de potencia son inferiores, mientras que el elevado par de arranque es innecesario para su uso en ventiladores.

No emite interferencias radioeléctricas continuamente, pero se oye un ruido cada vez que funciona el interruptor centrífugo.

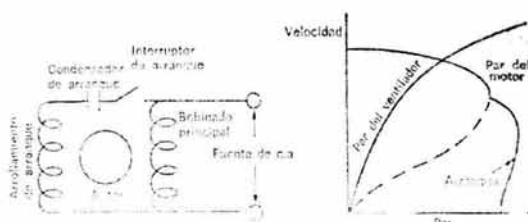


FIGURA 72. MOTOR MONOFÁSICO DE ARRANQUE POR CONDENSADOR Y CARACTERÍSTICAS TÍPICAS.

Motores con fase auxiliar.

En los dos motores anteriormente descritos se emplean un condensador para obtener el desfase eléctrico entre los campos magnéticos de los dos bobinados, produciéndose condiciones similares a bifásicos. En el motor con bobinado auxiliar el desfase se logra conectando

una resistencia en serie con el bobinado de arranque, o construyendo el bobinado de arranque con una mayor relación de la resistencia a la reactancia que el bobinado principal. Cualquiera de los dos métodos crea un desfase suficiente para arrancar el motor. Cuando éste ha alcanzado su velocidad normal se desconecta el bobinado de arranque mediante un interruptor que se puede operar manualmente o controlarlo con un relé dependiente de la corriente del bobinado principal o más comúnmente por un interruptor centrífugo montado en el árbol del rotor. El aparato entonces funciona como un motor monofásico. Estos motores tienen la misma desventaja para impulsar ventiladores que los de arranque por condensador.

Dos velocidades se pueden obtener fácilmente con un doble arrollamiento o cambiando el número de polos. Cambiar el sentido de giro es posible invirtiendo las conexiones del bobinado de arranque. Este tipo sólo se hace en potencia fraccionaria y es útil para ventiladores de baja potencia. EL arranque se efectúa conectándolo directamente a la red.

No genera interferencias radioeléctricas; sólo se notará el interruptor centrífugo.

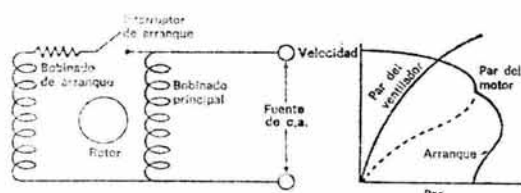


FIGURA 73. MOTOR MONOFÁSICO DE INDUCCIÓN CON FASE AUXILIAR Y CARACTERÍSTICAS.

Motores con espira de sombra

Este tipo de motor de inducción es el que tiene un auto arranque más simple. El rotor es del tipo de jaula de ardilla y los polos son de forma tal que una espira en cortocircuito colocada en una ranura que tienen produce un campo magnético desfasado del principal. Comparado con otros tipos de motores monofásicos sus características son inferiores y el factor de potencia también es muy bajo; entre las ventajas destacan su bajo precio y robustez. Al ser las pérdidas bastante elevadas, es casi imposible estropearlo aplicándole una sobrecarga.

En su aplicación a los ventiladores su velocidad se puede reducir hasta un 50 % de la máxima reduciendo la tensión aplicada. A este motor es imposible cambiarle el sentido de rotación. El par de arranque es muy bajo. Este tipo de motor es muy popular para impulsar motores de pequeña potencia, inferior a 15 W. El arranque se puede efectuar conectándolos directamente a la red.

Este motor no genera interferencias radioeléctricas.

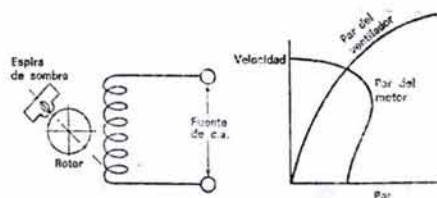


FIGURA 74. MOTOR ESPIRA DE SOMBRA Y CARACTERÍSTICAS.

Motores de inducción con arranque tipo repulsión.

Este motor tiene un solo bobinado en el estator y es parecido al motor de repulsión, pues tiene un rotor bobinado y colector. El arranque que se efectúa como en un motor de repulsión; es decir, las escobillas están cortocircuitadas. Al llegar a la velocidad de régimen un interruptor centrífugo cortocircuita todas las delgas del colector. El motor en régimen normal funciona como si fuera monofásico de inducción. El sentido de rotación puede invertirse, cuando está parado, haciendo girar la posición de las escobillas sobre el rotor.

Los motores de inducción con arranque tipo repulsión no son muy indicados para impulsar ventiladores, pues son esencialmente de velocidad constante. No obstante algunas veces se emplean puesto que es el único motor de gran tamaño para redes monofásicas.

El motor genera interferencias radioeléctricas en el período de arranque, pero cesan cuando gira como motor de inducción.

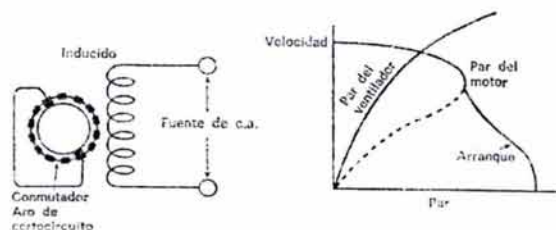


FIGURA 75. MOTOR CON ARRANQUE TIPO REPULSIÓN

A.12. CARACTERÍSTICAS DE LA TARJETA FACIL_11B

TARJETA FACIL_11B

Por: M.I. Antonio Salvá Calleja salva@dctrl.fi-b.unam.mx



FIGURA 76. TARJETA FACIL_11B.

Características principales:

1. Está basada en el microcontrolador 68HC11F1 y puede operar en cualquiera de los cuatro modos asociados con el 68HC11 en general.
2. Contiene firmware interlocutor que permite manejarla, vía enlace serie, desde una computadora PC mediante la ejecución en la misma del software clásico para este fin (PCBUG11), o bien del manejador visual PUMMA_11 que corre bajo WINDOWS, que contempla los comandos de manejo más usuales además de algunos otros adicionales asociados con características propias de la tarjeta FACIL_11.
3. Compatibilidad con otras herramientas de software asociadas con el HC11, permitiendo esto la ejecución en la tarjeta de programas originalmente escritos en lenguaje C o ensamblador, lográndose esto mediante la carga y ejecución del archivo objeto S19 que haya sido generado por el software de ensamble o compilación respectivo.
4. Capacidad para configurar diversos mapas de memoria al operar en modo expandido; por ejemplo: 8k de RAM y 8k de EPROM, o bien, 32k de RAM y 32k de EPROM.
5. Puede configurarse para ser energizada tanto con una fuente de laboratorio de cinco volts, como por un eliminador de batería.
6. Contiene postes para conexión de unidades desplegadas alfanuméricas comunes en la industria, así como también postes para conexión de teclados de 4 x 4.
7. Dos puertos de entrada y dos puertos de salida visibles al operar en modo expandido, además de líneas de paginación de puerto adicionales, que permiten al usuario experimentar con la conexión de dispositivos externos tales como: puertos serie o paralelos adicionales, chips de reloj, o hardware específico diseñado para una determinada aplicación.
8. Contiene circuito para respaldo de RAM externa al MCU (esto requiere una batería de 3V a 4.5V conectada al conector 10).
9. Programador integrado de memorias EPROM, manejado por opciones especiales del software PUMMA_11. Las memorias que pueden ser programadas son : 27C64, 27C128, 27C256 y 27C512. Esta facilidad permite efectuar el desarrollo de una aplicación desde la prueba y depuración del software asociado con la misma, hasta la programación final de la memoria EPROM requerida para almacenar el código correspondiente para ejecución autónoma, todo en un solo equipo.

A.13. DIRECCIONES DE LETRAS PARA DISPLAY

upper 4 bit	lower 4 bit	0000	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111
0000	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
0001	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01
0010	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02
0011	03	03	03	03	03	03	03	03	03	03	03	03	03	03	03	03
0100	04	04	04	04	04	04	04	04	04	04	04	04	04	04	04	04
0101	05	05	05	05	05	05	05	05	05	05	05	05	05	05	05	05
0110	06	06	06	06	06	06	06	06	06	06	06	06	06	06	06	06
0111	07	07	07	07	07	07	07	07	07	07	07	07	07	07	07	07
1000	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08
1001	09	09	09	09	09	09	09	09	09	09	09	09	09	09	09	09
1010	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
1011	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
1100	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
1101	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
1110	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
1111	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

FIGURA 77. DIRECCIONES PARA SELECCIÓN DE LETRAS Y SÍMBOLOS EN DISPLAY

A.15. VENTILADOR EMPLEADO.

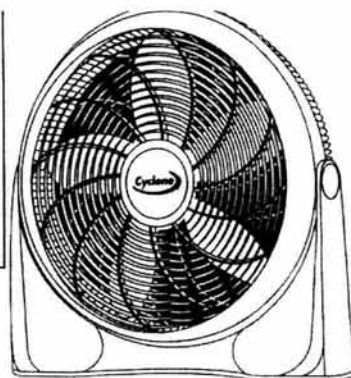
LASKO
Innovators in Home Comfort

IMPORTADOR: COMERCIALIZADORA MEXICO AMERICANA
S. DE R.L. DE C.V.
AV. NEXTENGO NO. 78
COL. SANTA CRUZ ACAYUCAN
DEL AZCAPOTZALCO
MEXICO D.F. C.P. 06770
CMA-910911-911

RFC:

- PRODUCTO: VENTILADOR DE PISO
- MARCA: LASKO
- MODELO: 3510
- PAIS DE ORIGEN: E.U.A.
- CONTENIDO: 1 VENTILADOR
- GARANTIA ANEXA
- LEA ESTE INSTRUCTIVO ANTES DE USAR EL PRODUCTO
- ESPECIFICACIONES ELECTRICAS: 120V-60HZ 1.1A
- ESTE PRODUCTO PRESENTA SUJETACABLES TIPO "Y"
- SI EL CORDON DE ALIMENTACION ES DAÑADO, ESTE DEBE DE SER REEMPLAZADO POR EL FABRICANTE O SU AGENTE DE SERVICIO O POR PERSONAL CALIFICADO PARA EVITAR EL RIESGO

NOM



VENTILADOR DE PISO 50,8cm DE DIAMETRO Modelo 3510

INSTRUCCIONES IMPORTANTES DE SEGURIDAD

LEA Y CONSERVE ESTE INSTRUCTIVO PARA FUTURAS CONSULTAS

Este Ventilador es para uso residencial únicamente.

No está destinado para uso en ambientes comerciales o industriales.

INSTRUCCIONES GENERALES DE SEGURIDAD

1. Nunca meta los dedos, lápices u otros objetos extraños a través de la rejilla.
2. Desconecte el Ventilador cuando lo traslade de un lugar otro.
3. Asegúrese que el Ventilador esté en una superficie estable cuando está funcionando, para evitar la posibilidad de volcarse.
4. Desconecte el Ventilador cuando quite las rejilla para limpiar.
5. **ADVERTENCIA:** Para reducir el riesgo de incendio, electrochoque o lesiones:
 - a) No use este Ventilador con ningún tipo de dispositivo de control de velocidad electrónico.
 - b) Desenchufe el Ventilador antes de limpiarlo o repararlo.
 - c) Si usted desarma el Ventilador, armelo completamente antes de reconectar la energía eléctrica.
 - d) No use el Ventilador en una ventana, ya que la lluvia podría crear un peligro eléctrico.

FUNCIONAMIENTO

1. Rotar el botón de encendido ubicado en la parte posterior del Ventilador a la velocidad deseada.
2. Para ajustar la dirección del aire, simplemente gire la cabeza del Ventilador.
3. La cremallera con un ajuste se mantendrá el Ventilador en la posición deseada.

EL ENSAMBLE DE LA CREMALLERA EN EL "CYCLONE" ESTA DISEÑADA PARA QUE TRAVE EN CADA POSICION, ASI QUE CUANDO AJUSTE EL ANGULO DEL VENTILADOR OIRA UN SONIDO EL CUAL ES NORMAL.

ENCHUFE POLARIZADO

Este aparato tiene el enchufe polarizado (un diente es más ancho que el otro). Para reducir el riesgo de electrochoque, este enchufe esta hecho para que entre al toma corriente de una forma solamente. Si el enchufe no queda totalmente en el toma corriente, dele vuelta al enchufe. Si aun no queda, contacte a un electricista capacitado. No trate de anular este aspecto de seguridad.

MANTENIMIENTO

ADVERTENCIA: DESCONECTE SIEMPRE EL CORDÓN ANTES DE INTENTAR REALIZAR CUALQUIER FUNCIÓN DE SERVICIO.

LIMPIEZA: Use un trapo y una solución de jabón suave, tal como detergente líquido para lavar trastes.

ADVERTENCIA: No use gasolina, bencina, diluyente de pintura ni limpiadores fuertes en aerosol, ya que éstos dañarán el Ventilador.

ALMACENAMIENTO: Cuando no lo utilice, mantenga el aparato en un lugar limpio y seco.

EL MOTOR HA SIDO PERMANENTEMENTE LUBRICADO.

Modelo 3510

Consumo de Corriente: 1,1A

Frecuencia de Operación: 60 Hz

Tension de Alimentación: 120V~

FIGURA 79. CARACTERÍSTICAS DE VENTILADOR EMPLEADO EN EL PROYECTO

A.16. CALEFACTOR EMPLEADO**BIRTMAN**Electrodomésticos
Ventiladores
Extractores de aire**INDUSTRIAS BIRTMAN, S. A. DE C. V.**JOSELILLO NO. 7
COL. EL PARQUE
NAUCALPAN DE JUÁREZ, EDO. DE MEX, C.P. 53390
TELÉFONO: (5) 5 80 10 80
FAX: (5) 5 80 10 81Email: industriasbirtman@prodigy.net.mx
www.birtman.com.mx**INSTRUCTIVO DE USO PARA EL
CALEFACTOR / VENTILADOR ELECTRICO
(Con Termostato Ajustable)
MODELO: 5400
MARCA: LASKO****ANTES DE USAR EL CALEFACTOR / VENTILADOR LEA DETENIDAMENTE EL PRESENTE
INSTRUCTIVO Y DESPUÉS CONSÉRVELO EN UN LUGAR SEGURO PARA FUTURAS
CONSULTAS****I.- DESCRIPCIÓN:**

- Calefactor / Ventilador Eléctrico.
- 120V- 60Hz 1350W
- 3 posiciones
 - Ventilador
 - Calefactor (Alta) 1350W
 - Calefactor (Baja) 900W
- Termostato ajustable para mantener la temperatura deseada.
- Diseñado con máxima seguridad, con fusible térmico.
- Agarradera para su fácil traslado.
- Luz indicadora de encendido.

SUJETACABLES TIPO "Y"

Si el cordón de alimentación es dañado, este debe de ser reemplazado por el fabricante o su agente de servicio o por personal calificado para evitar el riesgo.

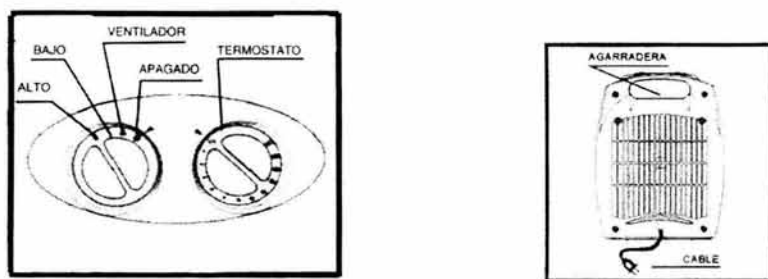
2. -ADVERTENCIAS Y PRECAUCIONES:

1. El calefactor cuando está en uso se calienta, por lo que para no quemarse procure no tocar estas superficies calientes.
2. Siempre use la agarradera para mover la unidad.
3. Cuando el calefactor esté en uso, asegúrese que las cortinas, sábanas, papeles, y muebles que contengan materiales combustibles estén por lo menos a una distancia de 90 cm del calefactor y evite el contacto con las mismas.
4. Siempre se deben tomar PRECAUCIONES al usar cualquier calefactor cerca de niños o personas inválidas y así mismo cuando la unidad se deja funcionando sin que alguna persona lo supervise.
5. Siempre desenchufe el calentador cuando no está en uso.
6. No opere ningún calefactor si el cable o clavija está dañado o si se cae la unidad o está dañada. En estos casos, devuelva la unidad a un centro de servicio autorizado para su reparación.
7. No use el calefactor en áreas exteriores.
8. Este calefactor no está diseñado para usarse en áreas extremadamente húmedas o mojadas.
9. No instale el cordón eléctrico debajo de la alfombra. Coloque el cordón en áreas de poco tráfico donde nadie lo pise.

10. Para desconectar el calentador, primero apague el interruptor a "OFF", después desconecte tirando desde la clavija.
11. No permita que se metan objetos en las aberturas de ventilación y salidas de aire caliente ya que pueden causar cortos y dañar la unidad.
12. Para prevenir la posibilidad de un incendio, no bloquee las aberturas de entrada de aire. No use la unidad sobre superficies suaves como por ejemplo una cama, ya que podrían resultar bloqueadas estas aberturas Y PODRIA RESULTAR PELIGROSO.
13. Un calefactor tiene componentes muy calientes y por lo mismo debe de tener excesiva precaución. No lo use en áreas donde se almacenan gasolina, pintura, o líquidos inflamables.
14. Use esta unidad únicamente en la manera indicada en el manual. Cualquier otro uso no recomendado puede causar incendio, toques eléctricos, o lesiones.
15. Evite el uso de un cable de extensión porque se puede sobrecalentar. En caso de ser absolutamente necesario, use una extensión de calibre 14 de dos hilos y con tolerancia para 1875W

3.- PARTES QUE INTEGRAN SU CALEFACTOR

Fig. 1 Controles de Funcionamiento



4.- FUNCIONAMIENTO

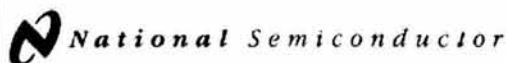
1. Coloque el calentador en el piso a una distancia mínima de 90 cm de los muros y otros objetos como muebles, plantas y cortinas.
2. Con los apagadores en posición "OFF" enchufe la unidad al tomacorriente.
3. El termostato ajustable automáticamente mantendrá la temperatura ambiente deseada.
4. Gire la perilla del termostato según reloj toda la vuelta para lograr la temperatura deseada.
5. Prenda el calentador a una de las siguientes selecciones:
 - I ventilador
 - II calefacción (baja)
 - III calefacción (alta)
6. La luz indicadora se prende al activar.
7. Girando el termostato según reloj incrementará la temperatura deseada y girándolo contrarreloj disminuye la temperatura.
8. Apague el control a la posición "OFF" cuando termina de usar el calentador y siempre desconecte.

5.- MANTENIMIENTO Y LIMPIEZA:

- Desconecte la unidad antes de limpiar. Limpie con un trapo húmedo.
- No meta la unidad en agua o cualquier otro líquido.

FIGURA 80. ESPECIFICACIONES DE CALEFACTOR EMPLEADO EN EL PROYECTO

A.17. HOJAS DE ESPECIFICACIONES DE LOS CIRCUITOS EMPLEADOS



June 1999

DAC0800/DAC0802

8-Bit Digital-to-Analog Converters

General Description

The DAC0800 series are monolithic 8-bit high-speed current-output digital-to-analog converters (DAC) featuring typical settling times of 100 ns. When used as a multiplying DAC, monotonic performance over a 40 to 1 reference current range is possible. The DAC0800 series also features high compliance complementary current outputs to allow differential output voltages of 20 V_{p-p} with simple resistor loads as shown in Figure 1. The reference-to-full-scale current matching of better than ± 1 LSB eliminates the need for full-scale trims in most applications while the nonlinearities of better than $\pm 0.1\%$ over temperature minimizes system error accumulations.

The noise immune inputs of the DAC0800 series will accept TTL levels with the logic threshold pin, V_{LC}, grounded. Changing the V_{LC} potential will allow direct interface to other logic families. The performance and characteristics of the device are essentially unchanged over the full ± 4.5 V to ± 18 V power supply range; power dissipation is only 33 mW with ± 5 V supplies and is independent of the logic input states.

The DAC0800, DAC0802, DAC0800C and DAC0802C are a direct replacement for the DAC-08, DAC-08A, DAC-08C, and DAC-08H, respectively.

Features

- Fast settling output current: 100 ns
- Full scale error: ± 1 LSB
- Nonlinearity over temperature: $\pm 0.1\%$
- Full scale current drift: ± 10 ppm/°C
- High output compliance: -10 V to $+18$ V
- Complementary current outputs
- Interface directly with TTL, CMOS, PMOS and others
- 2 quadrant wide range multiplying capability
- Wide power supply range: ± 4.5 V to ± 18 V
- Low power consumption: 33 mW at ± 5 V
- Low cost

Typical Applications

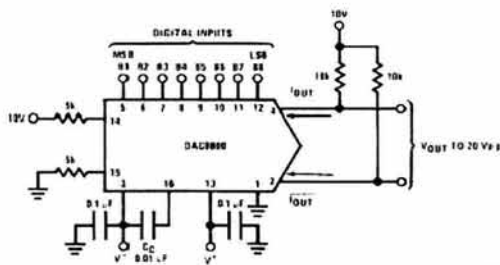


FIGURE 1. ± 20 V_{p-p} Output Digital-to-Analog Converter (Note 5)

Ordering Information

Non-Linearity	Temperature Range	Order Numbers				
		J Package (J16A) (Note 1)	N Package (N16E) (Note 1)	SO Package (M16A)		
$\pm 0.1\%$ FS	$0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$	DAC0802LCJ	DAC-08HQ	DAC0802LCN	DAC-08HP	DAC0802LCM
$\pm 0.19\%$ FS	$-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$	DAC0800LJ	DAC-08Q			
$\pm 0.19\%$ FS	$0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$	DAC0800LCJ	DAC-08EQ	DAC0800LCN	DAC-08EP	DAC0800LCM

Note 1: Devices may be ordered by using either order number.

Absolute Maximum Ratings (Note 2)

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

Supply Voltage ($V^+ - V^-$)	$\pm 18V$ or $36V$
Power Dissipation (Note 3)	500 mW
Reference Input Differential Voltage (V14 to V15)	V^- to V^+
Reference Input Common-Mode Range (V14, V15)	V^- to V^+
Reference Input Current	5 mA
Logic Inputs	V^- to V^+ plus $36V$
Analog Current Outputs ($V_{S-} = -15V$)	4.25 mA
ESD Susceptibility (Note 4)	TBD V

Storage Temperature	$-65^\circ C$ to $+150^\circ C$
Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)	
Dual-In-Line Package (plastic)	$260^\circ C$
Dual-In-Line Package (ceramic)	$300^\circ C$
Surface Mount Package	
Vapor Phase (60 seconds)	$215^\circ C$
Infrared (15 seconds)	$220^\circ C$

Operating Conditions (Note 2)

	Min	Max	Units
Temperature (T_A)			
DAC0800L	-55	+125	$^\circ C$
DAC0800LC	0	+70	$^\circ C$
DAC0802LC	0	+70	$^\circ C$

Electrical Characteristics

The following specifications apply for $V_{S-} = \pm 15V$, $I_{REF} = 2$ mA and $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$ unless otherwise specified. Output characteristics refer to both I_{OUT} and I_{OUT-} .

Symbol	Parameter	Conditions	DAC0802LC			DAC0800L/ DAC0800LC			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
	Resolution		8	8	8	8	8	8	Bits
	Monotonicity		8	8	8	8	8	8	Bits
	Nonlinearity				± 0.1			± 0.19	%FS
t_s	Settling Time	To $\pm 1/2$ LSB, All Bits Switched "ON" or "OFF", $T_A = 25^\circ C$ DAC0800L DAC0800LC		100	135		100 100	135 150	ns
t_{PLH} t_{PHL}	Propagation Delay Each Bit All Bits Switched	$T_A = 25^\circ C$		35 35	60 60		35 35	60 60	ns
TC_{FS}	Full Scale Tempo			± 10	± 50		± 10	± 50	ppm/ $^\circ C$
V_{OC}	Output Voltage Compliance	Full Scale Current Change $< 1/2$ LSB, $R_{OUT} > 20$ M Ω Typ	-10		18	-10		18	V
I_{FS4}	Full Scale Current	$V_{REF} = 10.000V$, $R14 = 5.000$ k Ω $R15 = 5.000$ k Ω , $T_A = 25^\circ C$	1.984	1.992	2.000	1.94	1.99	2.04	mA
I_{FS2}	Full Scale Symmetry	$I_{FS4} - I_{FS2}$		± 0.5	± 4.0		± 1	± 8.0	μA
I_{ZS}	Zero Scale Current			0.1	1.0		0.2	2.0	μA
I_{FSR}	Output Current Range	$V^- = -5V$ $V^- = -8V$ to $-18V$	0 0	2.0 2.0	2.1 4.2	0 0	2.0 2.0	2.1 4.2	mA
V_{IL} V_{IH}	Logic Input Levels Logic "0" Logic "1"	$V_{LC} = 0V$			0.8			0.8	V
I_{IL} I_{IH}	Logic Input Current Logic "0" Logic "1"	$V_{LC} = 0V$ $-10V \leq V_{IN} \leq +0.8V$ $2V \leq V_{IN} \leq +18V$		-2.0 0.002	-10 10		-2.0 0.002	-10 10	μA
V_{IS}	Logic Input Swing	$V^- = -15V$	-10		18	-10		18	V
V_{THR}	Logic Threshold Range	$V_S = \pm 15V$	-10		13.5	-10		13.5	V
I_{FE}	Reference Bias Current			-1.0	-3.0		-1.0	-3.0	μA
d/dt	Reference Input Slew Rate	(Figure 1f)	4.0	8.0		4.0	8.0		mA/ μs
PSS_{FS-}	Power Supply Sensitivity	$4.5V \leq V^- \leq 18V$		0.0001	0.01		0.0001	0.01	%/%
PSS_{FS-}		$-4.5V \leq V^- \leq 18V$ $I_{REF} = 1mA$		0.0001	0.01		0.0001	0.01	%/%

Electrical Characteristics (Continued)

The following specifications apply for $V_S = \pm 15V$, $I_{REF} = 2\text{ mA}$ and $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$ unless otherwise specified. Output characteristics refer to both I_{COUT} and I_{OUT} .

Symbol	Parameter	Conditions	DAC0802LC			DAC0800L/ DAC0800LC			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
I ⁺ I ⁻	Power Supply Current	$V_S = \pm 5V$, $I_{REF} = 1\text{ mA}$		2.3	3.8		2.3	3.8	mA
				-4.3	-5.8		-4.3	-5.8	mA
		$V_S = 5V$, $-15V$, $I_{REF} = 2\text{ mA}$		2.4	3.8		2.4	3.8	mA
				-6.4	-7.8		-6.4	-7.8	mA
I ⁺ I ⁻	Power Supply Current	$V_S = \pm 15V$, $I_{REF} = 2\text{ mA}$		2.5	3.8		2.5	3.8	mA
				-6.5	-7.8		-6.5	-7.8	mA
P _D	Power Dissipation	$\pm 5V$, $I_{REF} = 1\text{ mA}$		33	48		33	48	mW
		$5V$, $-15V$, $I_{REF} = 2\text{ mA}$		108	136		108	136	mW
		$\pm 15V$, $I_{REF} = 2\text{ mA}$		135	174		135	174	mW

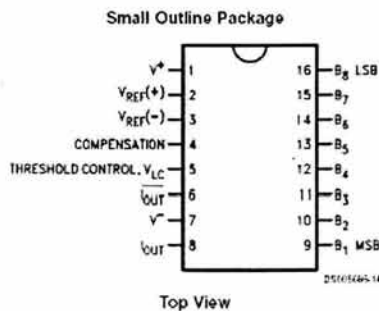
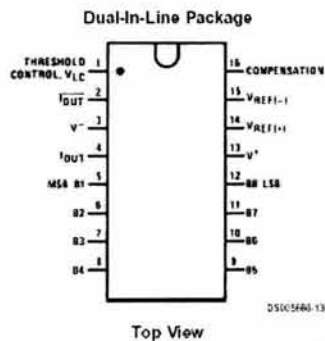
Note 2: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its specified operating conditions.

Note 3: The maximum junction temperature of the DAC0800 and DAC0802 is 125°C. For operating at elevated temperatures, devices in the Dual-In-Line J package must be derated based on a thermal resistance of 100°C/W, junction-to-ambient, 175°C/W for the inclined Dual-In-Line N package and 100°C/W for the Small Outline M package.

Note 4: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 kΩ resistor.

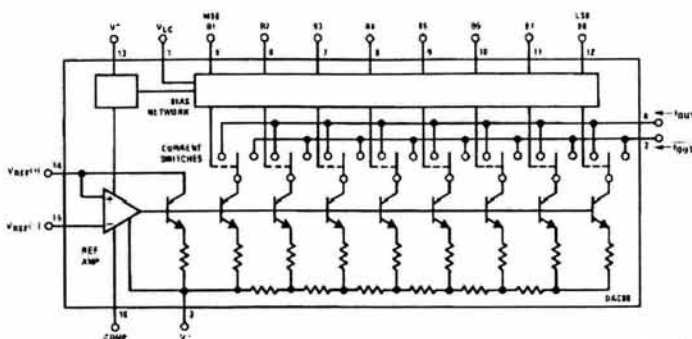
Note 5: Pin-out numbers for the DAC080X represent the Dual-In-Line package. The Small Outline package pin-out differs from the Dual-In-Line package.

Connection Diagrams



See Ordering Information

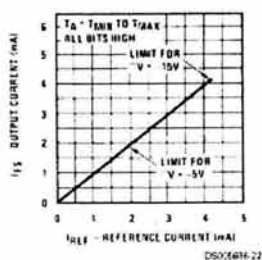
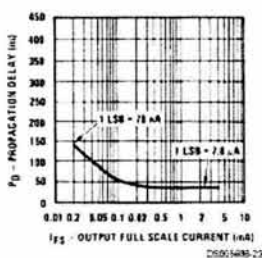
Block Diagram (Note 5)



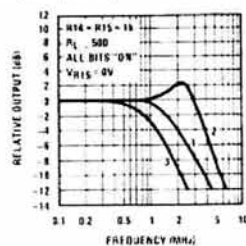
DS00666-2

Typical Performance Characteristics

Full Scale Current vs Reference Current

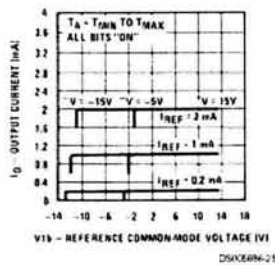
LSB Propagation Delay vs I_{FS} 

Reference Input Frequency Response



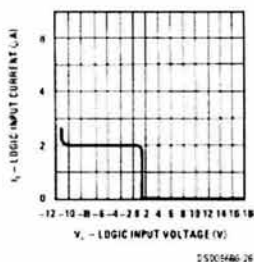
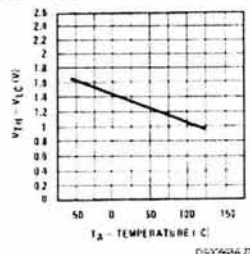
Curve 1: $C_L = 15$ pF, $V_{IN} = 2$ Vp-p centered at 1V.
 Curve 2: $C_L = 15$ pF, $V_{IN} = 50$ mVp-p centered at 200 mV.
 Curve 3: $C_L = 0$ pF, $V_{IN} = 100$ mVp-p centered at 0V and applied through 50 Ω connected to pin 14. 2V applied to pin 14.

Reference Amp Common-Mode Range



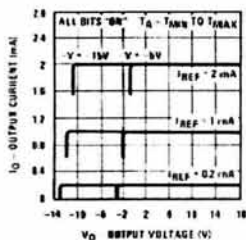
Note: Positive common mode range is always $(V+) - 1.5V$.

Logic Input Current vs Input Voltage

 $V_{TH} - V_{LC}$ vs Temperature

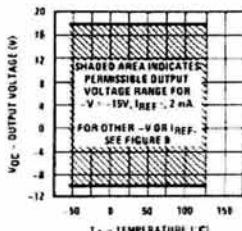
Typical Performance Characteristics (Continued)

Output Current vs Output Voltage (Output Voltage Compliance)



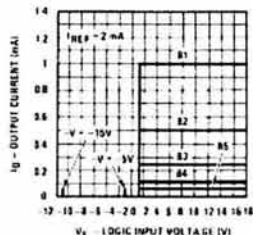
D500564-29

Output Voltage Compliance vs Temperature



D500564-29

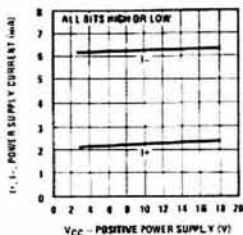
Bit Transfer Characteristics



D500564-30

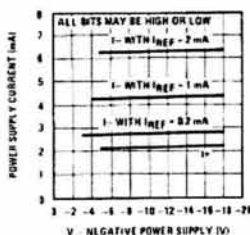
Note: B1-B8 have identical transfer characteristics. Bits are fully switched with less than 1/2 LSB error, at less than ±100 mV from actual threshold. These switching points are guaranteed to lie between 0.5 and 2.0 V over the operating temperature range ($V_{CC} = 0V$).

Power Supply Current vs +V



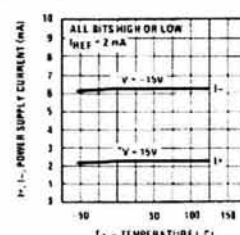
D500564-31

Power Supply Current vs -V



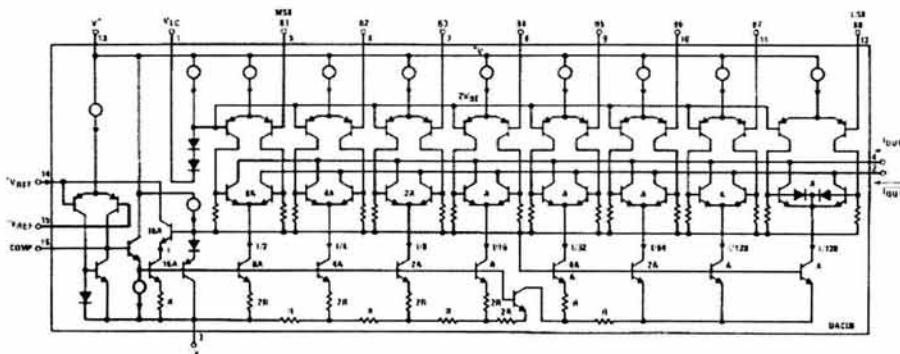
D500564-32

Power Supply Current vs Temperature



D500564-33

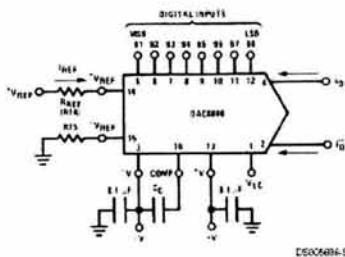
Equivalent Circuit



D500564-35

FIGURE 2.

Typical Applications



DS01084-5

$$I_{FS} \approx \frac{+V_{REF}}{R_{REF}} \times \frac{255}{256}$$

$I_O + \bar{I}_O = I_{FS}$ for all logic states

For fixed reference, TTL operation, typical values are:

$V_{REF} = 10.000V$

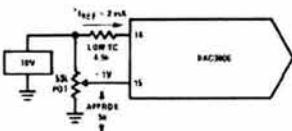
$R_{REF} = 5.000k$

$R_{15} = R_{REF}$

$C_C = 0.01 \mu F$

$V_{IC} = 0V$ (Ground)

FIGURE 3. Basic Positive Reference Operation (Note 5)



DS01084-21

FIGURE 4. Recommended Full Scale Adjustment Circuit (Note 5)

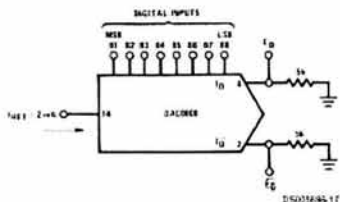


DS01084-10

$$I_{FS} \approx \frac{-V_{REF}}{R_{REF}} \times \frac{255}{256}$$

Note: R_{REF} sets I_{FS} ; R_{15} is for bias current cancellation

FIGURE 5. Basic Negative Reference Operation (Note 5)



DS01084-17

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	I_O mA	\bar{I}_O mA	E_O	\bar{E}_O
Full Scale	1	1	1	1	1	1	1	1	1.992	0.000	-9.960	0.000
Full Scale-LSB	1	1	1	1	1	1	1	0	1.984	0.008	-9.920	-0.040
Half Scale+LSB	1	0	0	0	0	0	0	1	1.008	0.984	-5.040	-4.920
Half Scale	1	0	0	0	0	0	0	0	1.000	0.992	-5.000	-4.960
Half Scale-LSB	0	1	1	1	1	1	1	1	0.992	1.000	-4.960	-5.000
Zero Scale+LSB	0	0	0	0	0	0	0	1	0.008	1.984	-0.040	-9.920
Zero Scale	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	1.992	0.000	-9.960

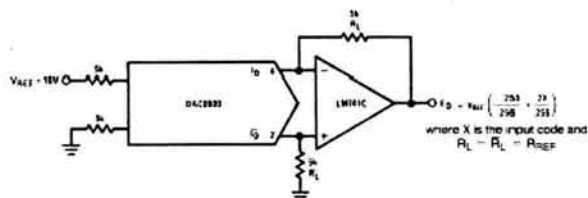
FIGURE 6. Basic Unipolar Negative Operation (Note 5)

Typical Applications (Continued)



	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	E_O	\bar{E}_O
Pos. Full Scale	1	1	1	1	1	1	1	1	-9.920	+10.000
Pos. Full Scale-LSB	1	1	1	1	1	1	1	0	-9.840	+9.920
Zero Scale+LSB	1	0	0	0	0	0	0	1	-0.080	+0.160
Zero Scale	1	0	0	0	0	0	0	0	0.000	+0.080
Zero Scale-LSB	0	1	1	1	1	1	1	1	+0.080	0.000
Neg. Full Scale+LSB	0	0	0	0	0	0	0	1	+9.920	-9.840
Neg. Full Scale	0	0	0	0	0	0	0	0	+10.000	-9.920

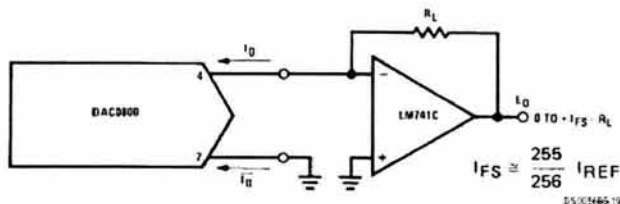
FIGURE 7. Basic Bipolar Output Operation (Note 5)



If $R_L = R_{REF}$ within $\pm 0.05\%$, output is symmetrical about ground

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	E_O
Pos. Full Scale	1	1	1	1	1	1	1	1	+9.960
Pos. Full Scale-LSB	1	1	1	1	1	1	1	0	+9.880
(+)Zero Scale	1	0	0	0	0	0	0	0	+0.040
(-)Zero Scale	0	1	1	1	1	1	1	1	-0.040
Neg. Full Scale+LSB	0	0	0	0	0	0	0	1	-9.880
Neg. Full Scale	0	0	0	0	0	0	0	0	-9.960

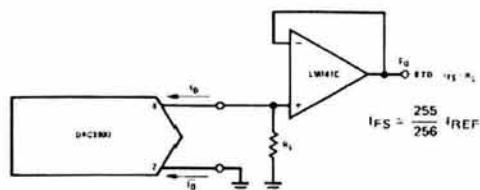
FIGURE 8. Symmetrical Offset Binary Operation (Note 5)



For complementary output (operation as negative logic DAC), connect inverting input of op amp to \bar{I}_O (pin 2), connect I_O (pin 4) to ground.

FIGURE 9. Positive Low Impedance Output Operation (Note 5)

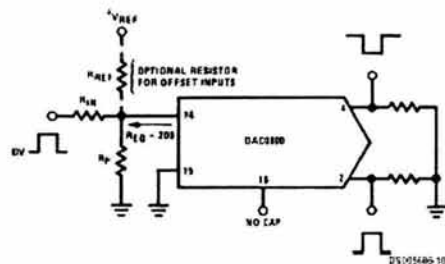
Typical Applications (Continued)



DS90C06-20

For complementary output (operation as a negative logic DAC) connect non-inverting input of op amp to I_{OUT} (pin 2); connect I_{IN} (pin 4) to ground.

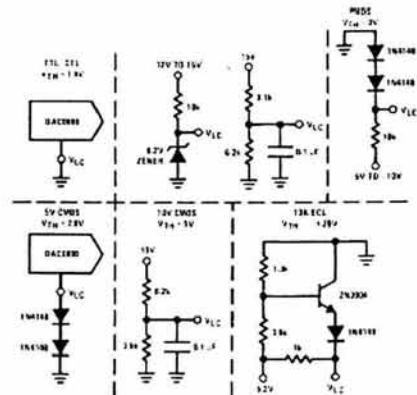
FIGURE 10. Negative Low Impedance Output Operation (Note 5)



DS90C06-10

Typical values: $R_{IN} = 5k\Omega$, $V_{IN} = 10V$

FIGURE 11. Pulsed Reference Operation (Note 5)



DS90C06-9

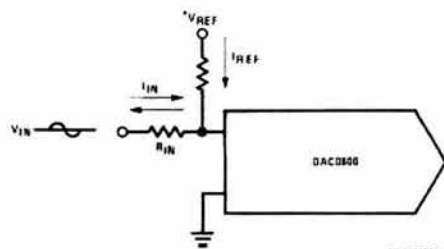
$$V_{IH} = V_{ILC} + 1.4V$$

$$15V \text{ CMOS, HTL, HINIL}$$

$$V_{IH} = 7.6V$$

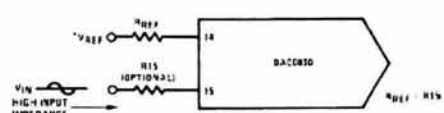
Note: Do not exceed negative logic input range of DAC.

FIGURE 12. Interfacing with Various Logic Families



DS90C06-11

(a) $I_{REF} \geq$ peak negative swing of I_{IN}

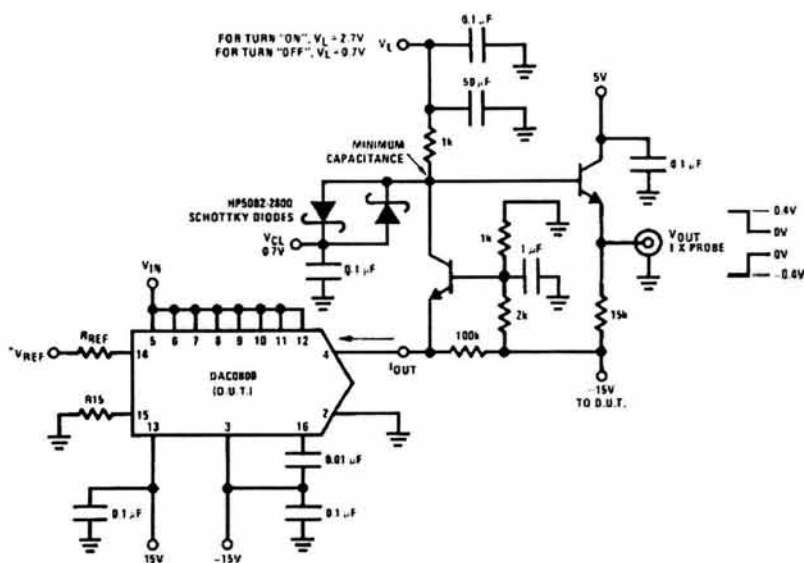


DS90C06-12

(b) $+V_{REF}$ must be above peak positive swing of V_{IN}

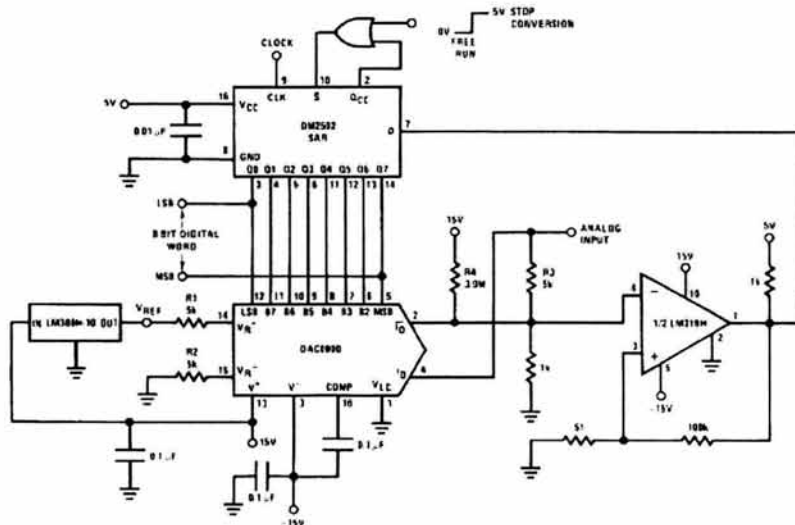
FIGURE 13. Accommodating Bipolar References (Note 5)

Typical Applications (Continued)



DS006967

FIGURE 14. Setting Time Measurement (Note 5)

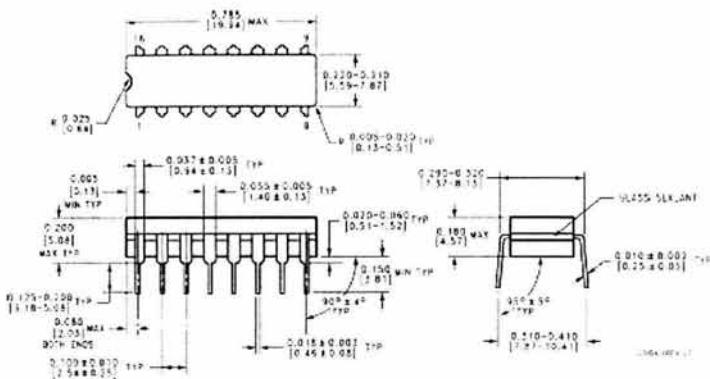


DS006968

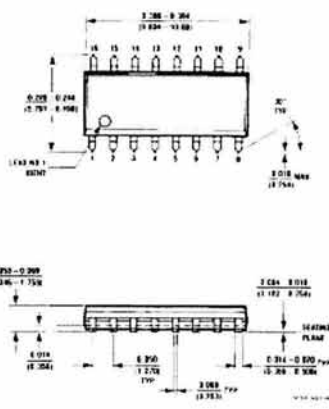
Note: For 1 μs conversion time with 8-bit resolution and 7-bit accuracy, an LM361 comparator replaces the LM319 and the reference current is doubled by reducing R_1 , R_2 and R_3 to 2.5 k Ω and R_4 to 2 M Ω .

FIGURE 15. A Complete 2 μs Conversion Time, 8-Bit A/D Converter (Note 5)

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted

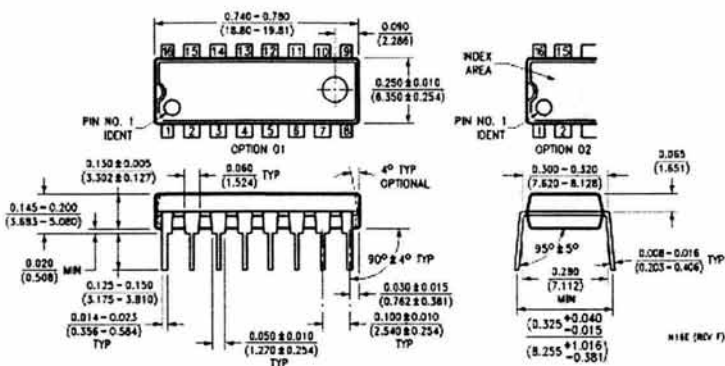


Molded Small Outline Package (SO)
Order Numbers DAC0800LCM,
or DAC0802LCM
NS Package Number M16A



Molded Small Outline Package (SO)
Order Numbers DAC0800LCM,
or DAC0802LCM
NS Package Number M16A

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)




Molded Dual-In-Line Package
Order Numbers DAC0800, DAC0802
NS Package Number N16E

DAC0800/DAC0802 8-Bit Digital-to-Analog Converters

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

- Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
- A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

 National Semiconductor
Corporation
Americas
Tel: 1-800-272-9959
Fax: 1-800-737-7019
Email: support@nsc.com

www.national.com

National Semiconductor
Europe
Fax: +49 (0) 1 80-530 85 86
Email: europe.support@nsc.com
Deutsch Tel: +49 (0) 1 80-530 85 86
English Tel: +49 (0) 1 80-532 78 32
Français Tel: +49 (0) 1 80-532 93 68
Italiano Tel: +49 (0) 1 80-534 16 80

National Semiconductor
Asia Pacific Customer
Response Group
Tel: 65-2544466
Fax: 65-2504466
Email: sea.support@nsc.com

National Semiconductor
Japan Ltd.
Tel: 81-3-5639-7500
Fax: 81-3-5639-7507

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described in circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

2N6344A, 2N6348A, 2N6349A

Preferred Device

Triacs

Silicon Bidirectional Thyristors

Designed primarily for full-wave ac control applications, such as light dimmers, motor controls, heating controls and power supplies; or wherever full-wave silicon gate controlled solid-state devices are needed. Triac type thyristors switch from a blocking to a conducting state for either polarity of applied anode voltage with positive or negative gate triggering.

- Blocking Voltage to 800 Volts
- All Diffused and Glass Passivated Junctions for Greater Parameter Uniformity and Stability
- Small, Rugged, Thermowatt Construction for Low Thermal Resistance, High Heat Dissipation and Durability
- Gate Triggering Guaranteed in all Four Quadrants
- For 400 Hz Operation, Consult Factory
- 8 Ampere Devices Available as 2N6344 thru 2N6349
- Device Marking: Logo, Device Type, e.g., 2N6344A, Date Code

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

Rating	Symbol	Value	Unit
*Peak Repetitive Off-State Voltage(Note 1) (Gate Open, $T_J = -40$ to $+110^\circ\text{C}$, Sine Wave 50 to 60 Hz, Gate Open) 2N6344A, 2N6348A 2N6349A	V_{DRM} , V_{RRM}	600 800	Volts
*On-State RMS Current (Full Cycle Sine Wave 50 to 60 Hz) ($T_C = +80^\circ\text{C}$) ($T_C = +95^\circ\text{C}$)	$I_{T(RMS)}$	12 6.0	A
*Peak Non-repetitive Surge Current (One Full Cycle, 60 Hz, $T_C = +80^\circ\text{C}$) Preceded and followed by rated current	I_{TSM}	100	A
Circuit Fusing Consideration ($t = 8.3$ ms)	I^2t	59	A^2s
*Peak Gate Power ($T_C = +80^\circ\text{C}$, Pulse Width = 2.0 μs)	P_{GM}	20	Watts
*Average Gate Power ($T_C = +80^\circ\text{C}$, $t = 8.3$ ms)	$P_{G(AV)}$	0.5	Watt
*Peak Gate Current (Pulse Width = 2.0 μs ; $T_C = +80^\circ\text{C}$)	I_{GM}	2.0	A
*Peak Gate Voltage (Pulse Width = 2.0 μs ; $T_C = +80^\circ\text{C}$)	V_{GM}	± 10	Volts
*Operating Junction Temperature Range	T_J	-40 to $+125$	$^\circ\text{C}$
*Storage Temperature Range	T_{sig}	-40 to $+150$	$^\circ\text{C}$

*Indicates JEDEC Registered Data.

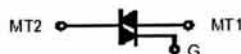
1. V_{DRM} and V_{RRM} for all types can be applied on a continuous basis. Blocking voltages shall not be tested with a constant current source such that the voltage ratings of the devices are exceeded.



ON Semiconductor®

http://onsemi.com

TRIACS
12 AMPERES RMS
600 thru 800 VOLTS



TO-220AB
CASE 221A
STYLE 4

PIN ASSIGNMENT

Pin	Assignment
1	Main Terminal 1
2	Main Terminal 2
3	Gate
4	Main Terminal 2

ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping
2N6344A	TO220AB	500/Box
2N6348A	TO220AB	500/Box
2N6349A	TO220AB	500/Box

Preferred devices are recommended choices for future use and best overall value.

2N6344A, 2N6348A, 2N6349A

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
*Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	2.0	$^{\circ}C/W$
Maximum Lead Temperature for Soldering Purposes 1/8" from Case for 10 Seconds	T_L	260	$^{\circ}C$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_C = 25^{\circ}C$ unless otherwise noted; Electricals apply in either direction)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
OFF CHARACTERISTICS					
*Peak Repetitive Blocking Current ($V_D = \text{Rated } V_{DRM}, V_{RRM}; \text{ Gate Open}$)	I_{DRM}, I_{RRM}	—	—	10	μA
		—	—	2.0	mA

ON CHARACTERISTICS

*Peak On-State Voltage ($I_{TM} = \pm 17 A$ Peak; Pulse Width = 1 to 2 ms, Duty Cycle $\leq 2\%$)	V_{TM}	—	1.3	1.75	Volts
Gate Trigger Current (Continuous dc) ($V_D = 12 V_{dc}, R_L = 100 \text{ Ohms}$)	I_{GT}	—	—	—	mA
Quadrant I: MT2(+), G(+)	All	—	6.0	50	
Quadrant II: MT2(+), G(-)	2N6348A and 2N6349A only	—	6.0	75	
Quadrant III: MT2(-), G(-)	All	—	10	50	
Quadrant IV: MT2(-), G(+)	2N6348A and 2N6349A only	—	25	75	
*MT2(+), G(+); MT2(-), G(-) $T_C = -40^{\circ}C$	—	—	—	100	
*MT2(+), G(-); MT2(-), G(+), $T_C = -40^{\circ}C$	—	—	—	125	
Gate Trigger Voltage (Continuous dc) ($V_D = 12 V_{dc}, R_L = 100 \text{ ohms}$)	V_{GT}	—	—	—	Volts
Quadrant I: MT2(+), G(+)	All	—	0.9	2.0	
Quadrant II: MT2(+), G(-)	2N6348A and 2N6349A only	—	0.9	2.5	
Quadrant III: MT2(-), G(-)	All	—	1.1	2.0	
Quadrant IV: MT2(-), G(+)	2N6348A and 2N6349A only	—	1.4	2.5	
*MT2(+), G(+); MT2(-), G(-) $T_C = -40^{\circ}C$	—	—	—	2.5	
*MT2(+), G(-); MT2(-), G(+), $T_C = -40^{\circ}C$	—	—	—	3.0	
Gate Non-Trigger Voltage ($V_D = \text{Rated } V_{DRM}, R_L = 10 k \text{ ohms}, T_J = 110^{\circ}C$)	V_{GD}	0.2	—	—	Volts
*MT2(+), G(+); MT2(-), G(-); MT2(+), G(-); MT2(-), G(+)	—	—	—	—	
Holding Current ($V_D = 12 V_{dc}, \text{ Gate Open}$)	I_H	—	6.0	40	mA
Initiating Current = $\pm 200 mA$		—	—	75	
$T_C = 25^{\circ}C$					
$T_C = -40^{\circ}C$					
*Turn-On Time ($V_D = \text{Rated } V_{DRM}, I_{TM} = 17 A, I_{GT} = 120 mA,$ Rise Time = 0.1 μs , Pulse Width = 2 μs)	t_{gt}	—	1.5	2.0	μs

DYNAMIC CHARACTERISTICS

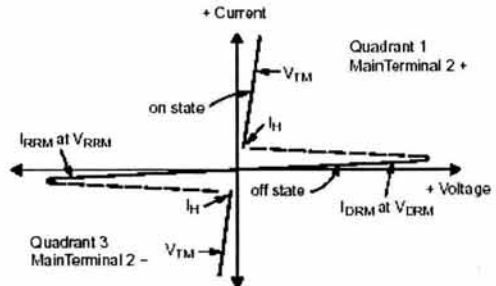
Critical Rate of Rise of Commutation Voltage ($V_D = \text{Rated } V_{DRM}, I_{TM} = 17 A, \text{ Commutating } di/dt = 6.1 A/ms,$ Gate Unenergized, $T_C = 80^{\circ}C$)	$dv/dt(c)$	—	5.0	—	$V/\mu s$
---	------------	---	-----	---	-----------

*Indicates JEDEC Registered Data.

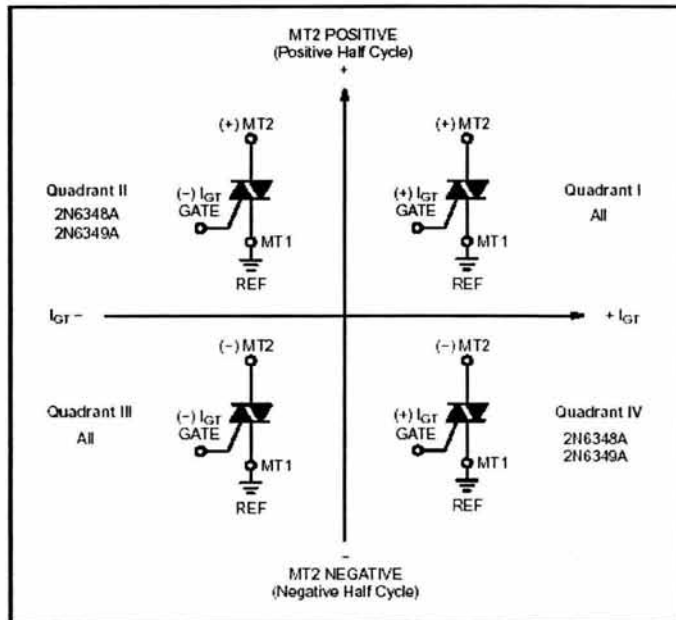
2N6344A, 2N6348A, 2N6349A

Voltage Current Characteristic of Triacs
(Bidirectional Device)

Symbol	Parameter
V_{DRM}	Peak Repetitive Forward Off State Voltage
I_{DRM}	Peak Forward Blocking Current
V_{RRM}	Peak Repetitive Reverse Off State Voltage
I_{RRM}	Peak Reverse Blocking Current
V_{TM}	Maximum On State Voltage
I_H	Holding Current



Quadrant Definitions for a Triac



All polarities are referenced to MT1.

With in-phase signals (using standard AC lines) quadrants I and III are used.

2N6344A, 2N6348A, 2N6349A

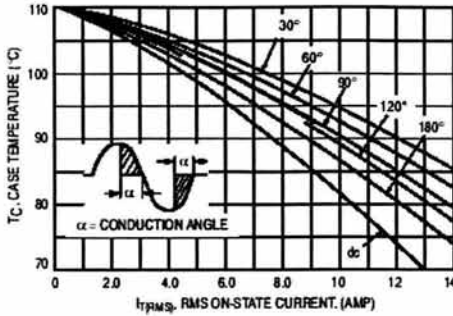


Figure 1. RMS Current Derating

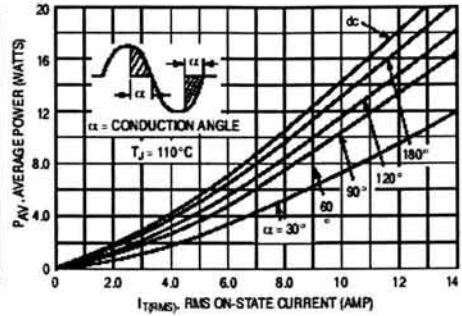


Figure 2. On-State Power Dissipation

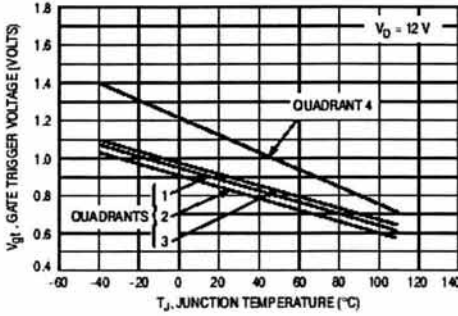


Figure 3. Typical Gate Trigger Voltage

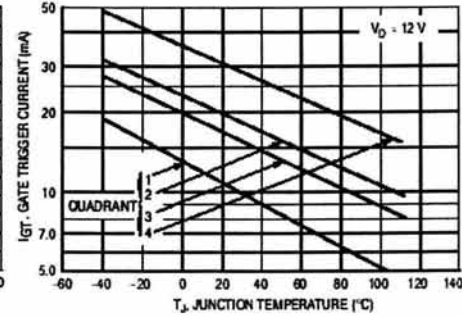


Figure 4. Typical Gate Trigger Current

2N6344A, 2N6348A, 2N6349A

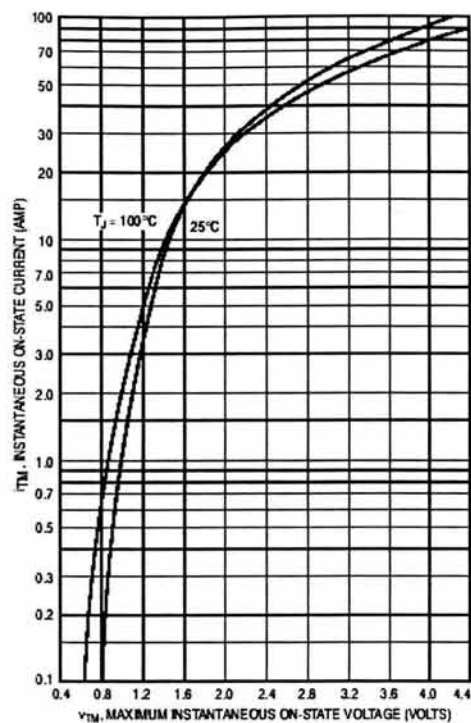


Figure 5. On-State Characteristics

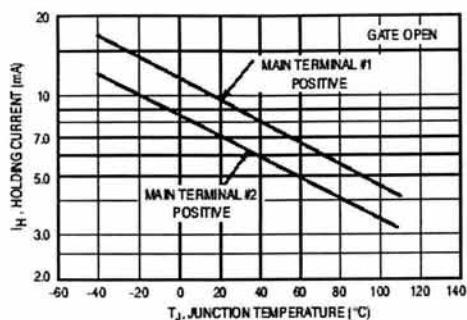


Figure 6. Typical Holding Current

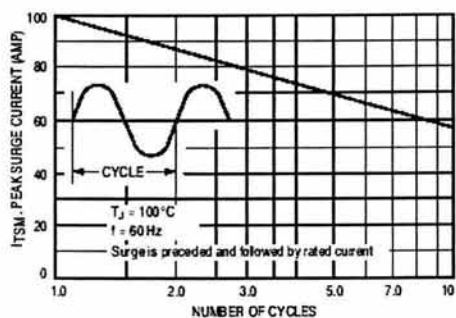


Figure 7. Maximum Non-Repetitive Surge Current

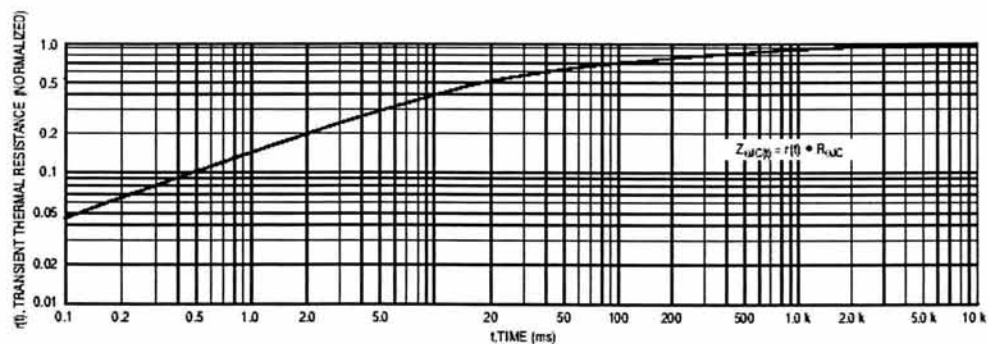
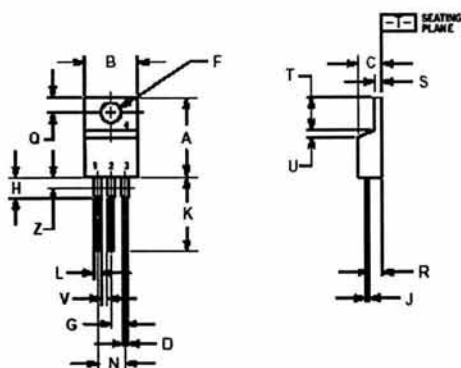


Figure 8. Typical Thermal Response

2N6344A, 2N6348A, 2N6349A


PACKAGE DIMENSIONS

TO-220AB
CASE 221A-07
ISSUE AA

- NOTES:
1 DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1998.
2 CONTROLLING DIMENSION IN INCH.
3 DIMENSION Z DEFINES A ZONE WHERE ALL BODY AND LEAD IRREGULARITIES ARE ALLOWED.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.570	0.620	14.48	15.75
B	0.285	0.405	7.26	10.28
C	0.100	0.190	2.57	4.82
D	0.025	0.025	0.64	0.64
F	0.148	0.147	3.61	3.73
G	0.025	0.105	2.52	2.66
H	0.110	0.185	2.80	3.93
J	0.014	0.022	0.36	0.55
K	0.005	0.006	0.127	0.152
L	0.045	0.050	1.15	1.27
M	0.190	0.210	4.83	5.33
O	0.100	0.120	2.54	3.04
R	0.080	0.110	2.04	2.79
S	0.045	0.095	1.15	1.29
T	0.225	0.295	5.67	6.47
U	0.005	0.005	0.00	0.127
V	0.045	---	1.15	---
Z	---	0.030	---	0.64

- STYLE 4
PH 1 MAN TERMINAL 1
2 MAN TERMINAL 2
3 GATE
4 MAN TERMINAL 2

ON Semiconductor and  are registered trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC (SCILLC). SCILLC reserves the right to make changes without further notice to any products herein. SCILLC makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does SCILLC assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. Typical parameters which may be provided in SCILLC data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including Typical, must be validated for each customer application by customer's technical experts. SCILLC does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. SCILLC products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the SCILLC product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use SCILLC products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold SCILLC and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that SCILLC was negligent regarding the design or manufacture of the part. SCILLC is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer. This literature is subject to all applicable copyright laws and is not for resale in any manner.

PUBLICATION ORDERING INFORMATION

LITERATURE FULFILLMENT
Literature Distribution Center for ON Semiconductor
PO. Box 5163, Denver, Colorado 80217 USA
Phone: 303-675-2175 or 800-344-3868 Toll Free USA/Canada
Fax: 303-675-2176 or 800-344-3867 Toll Free USA/Canada
Email: orderlit@onsemi.com

IL American Technical Support: 800-292-9855 Toll Free
USA/Canada

Japan: ON Semiconductor, Japan Customer Focus Center
2-9-1 Kamimeguro, Meguro-ku, Tokyo, Japan 153-0851
Phone: 81-3-5773-3858

ON Semiconductor Website: <http://onsemi.com>

Order Literature: <http://www.onsemi.com/litorder>

For additional information, please contact your local Sales Representative.

2N6344A/D

MAC15 Series

Preferred Device

Triacs

Silicon Bidirectional Thyristors

Designed primarily for full-wave ac control applications, such as solid-state relays, motor controls, heating controls and power supplies; or wherever full-wave silicon gate controlled solid-state devices are needed. Triac type thyristors switch from a blocking to a conducting state for either polarity of applied main terminal voltage with positive or negative gate triggering.

- Blocking Voltage to 800 Volts
- All Diffused and Glass Passivated Junctions for Greater Parameter Uniformity and Stability
- Small, Rugged, Thermowatt Construction for Low Thermal Resistance, High Heat Dissipation and Durability
- Gate Triggering Guaranteed in Three Modes (MAC15 Series) or Four Modes (MAC15A Series)
- Device Marking: Logo, Device Type, e.g., MAC15A6, Date Code

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

Rating	Symbol	Value	Unit
Peak Repetitive Off-State Voltage ⁽¹⁾ ($T_J = -40$ to $+125^\circ\text{C}$, Sine Wave 50 to 60 Hz, Gate Open) MAC15A6 MAC15-8, MAC15A8 MAC15-10, MAC15A10	V_{DRM} , V_{RRM}	400 600 800	Volts
Peak Gate Voltage (Pulse Width ≤ 1.0 μsec ; $T_C = 90^\circ\text{C}$)	V_{GM}	10	Volts
On-State Current RMS Full Cycle Sine Wave 50 to 60 Hz ($T_C = +90^\circ\text{C}$)	$I_T(\text{RMS})$	15	A
Circuit Fusing Consideration ($t = 8.3$ ms)	I^2t	93	A^2s
Peak Non-repetitive Surge Current (One Full Cycle Sine Wave, 60 Hz, $T_C = +80^\circ\text{C}$) Preceded and followed by rated current	I_{TSM}	150	A
Peak Gate Power ($T_C = +80^\circ\text{C}$, Pulse Width = 1.0 μs)	P_{GM}	20	Watts
Average Gate Power ($T_C = +80^\circ\text{C}$, $t = 8.3$ ms)	$P_{G(AV)}$	0.5	Watts
Peak Gate Current (Pulse Width ≤ 1.0 μsec ; $T_C = 90^\circ\text{C}$)	I_{GM}	2.0	A
Operating Junction Temperature Range	T_J	-40 to +125	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	T_{stg}	-40 to +150	$^\circ\text{C}$

(1) V_{DRM} and V_{RRM} for all types can be applied on a continuous basis. Blocking voltages shall not be tested with a constant current source such that the voltage ratings of the devices are exceeded.



ON Semiconductor

<http://onsemi.com>

TRIACS
15 AMPERES RMS
400 thru 800 VOLTS



TO-220AB
CASE 221A
STYLE 4

PIN ASSIGNMENT

1	Main Terminal 1
2	Main Terminal 2
3	Gate
4	Main Terminal 2

ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping
MAC15-8	TO220AB	500/Box
MAC15-10	TO220AB	500/Box
MAC15A6	TO220AB	500/Box
MAC15A8	TO220AB	500/Box
MAC15A10	TO220AB	500/Box

Preferred devices are recommended choices for future use and best overall value.

MAC15 Series

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Value	Unit
Thermal Resistance — Junction to Case	$R_{\theta JC}$	2.0	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$
— Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	62.5	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$
Maximum Lead Temperature for Soldering Purposes 1/8" from Case for 10 Seconds	T_L	260	$^{\circ}\text{C}$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_C = 25^{\circ}\text{C}$ unless otherwise noted; Electricals apply in both directions)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
----------------	--------	-----	-----	-----	------

OFF CHARACTERISTICS

Peak Blocking Current ($V_D = \text{Rated } V_{DRM}$, V_{RRM} ; Gate Open)	I_{DRM} , I_{RRM}	—	—	10 2.0	μA mA
---	--------------------------	---	---	-----------	---------------------

ON CHARACTERISTICS

Peak On-State Voltage ⁽¹⁾ ($I_{TM} = \pm 21 \text{ A Peak}$)	V_{TM}	—	1.3	1.6	Volts
Gate Trigger Current (Continuous dc) ($V_D = 12 \text{ Vdc}$, $R_L = 100 \text{ Ohms}$) MT2(+), G(+) MT2(+), G(-) MT2(-), G(-) MT2(-), G(+)* "A" SUFFIX ONLY	I_{GT}	—	—	50 50 50 75	mA
Gate Trigger Voltage (Continuous dc) ($V_D = 12 \text{ Vdc}$, $R_L = 100 \text{ Ohms}$) MT2(+), G(+) MT2(+), G(-) MT2(-), G(-) MT2(-), G(+)* "A" SUFFIX ONLY	V_{GT}	—	0.9 0.9 1.1 1.4	2 2 2 2.5	Volts
Gate Non-Trigger Voltage ($V_D = 12 \text{ V}$, $R_L = 100 \text{ Ohms}$, $T_J = 110^{\circ}\text{C}$) MT2(+), G(+); MT2(-), G(-); MT2(+), G(-) MT2(-), G(+)* "A" SUFFIX ONLY	V_{GD}	0.2 0.2	— —	— —	Volts
Holding Current ($V_D = 12 \text{ Vdc}$, Gate Open, Initiating Current = $\pm 200 \text{ mA}$)	I_H	—	6.0	40	mA
Turn-On Time ($V_D = \text{Rated } V_{DRM}$, $I_{TM} = 17 \text{ A}$) ($I_{GT} = 120 \text{ mA}$, Rise Time = $0.1 \mu\text{s}$, Pulse Width = $2 \mu\text{s}$)	t_{gt}	—	1.5	—	μs

DYNAMIC CHARACTERISTICS

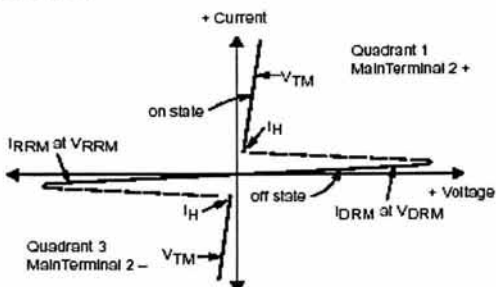
Critical Rate of Rise of Commutation Voltage ($V_D = \text{Rated } V_{DRM}$, $I_{TM} = 21 \text{ A}$, Commutating $dv/dt = 7.6 \text{ A/ms}$, Gate Unenergized, $T_C = 80^{\circ}\text{C}$)	$dv/dt(c)$	—	5.0	—	$\text{V}/\mu\text{s}$
--	------------	---	-----	---	------------------------

(1) Pulse Test: Pulse Width $\leq 2.0 \text{ ms}$, Duty Cycle $\leq 2\%$.

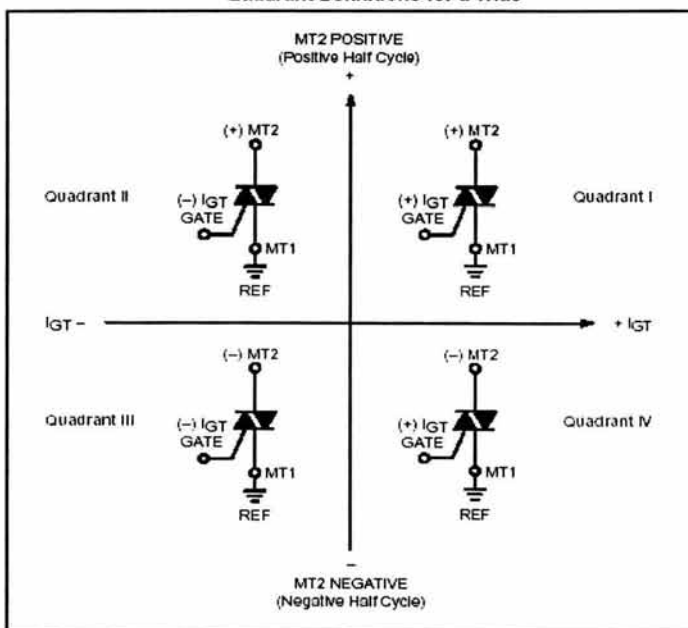
MAC15 Series

Voltage Current Characteristic of Triacs
(Bidirectional Device)

Symbol	Parameter
V_{DRM}	Peak Repetitive Forward Off State Voltage
I_{DRM}	Peak Forward Blocking Current
V_{RRM}	Peak Repetitive Reverse Off State Voltage
I_{RRM}	Peak Reverse Blocking Current
V_{TM}	Maximum On State Voltage
I_H	Holding Current



Quadrant Definitions for a Triac



All polarities are referenced to MT1.
With in-phase signals (using standard AC lines) quadrants I and III are used.

MAC15 Series

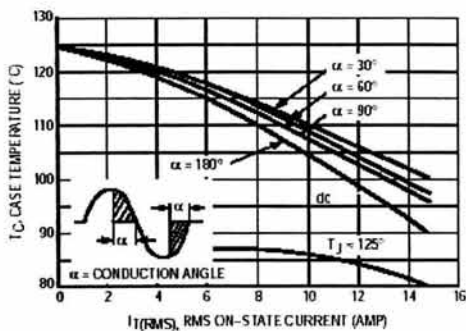


Figure 1. RMS Current Derating

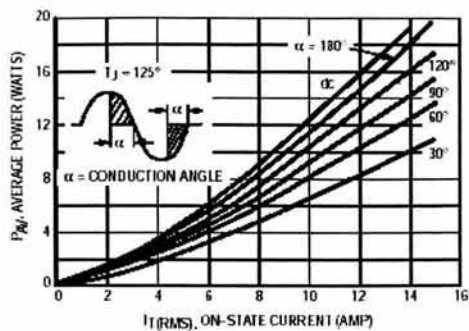


Figure 2. On-State Power Dissipation

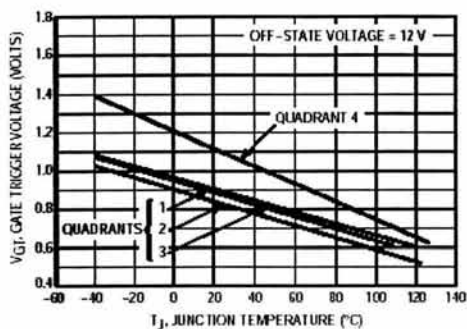


Figure 3. Typical Gate Trigger Voltage

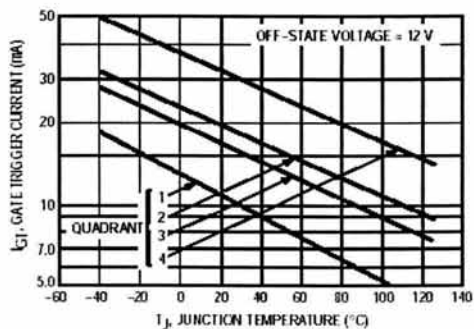


Figure 4. Typical Gate Trigger Current

MAC15 Series

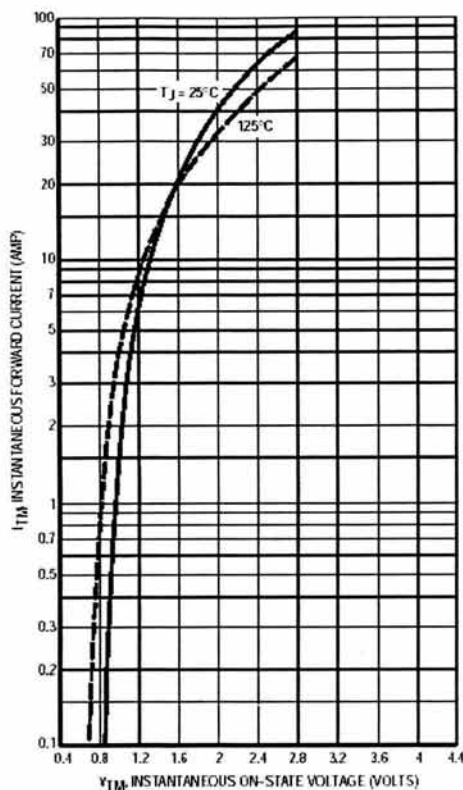


Figure 5. On-State Characteristics

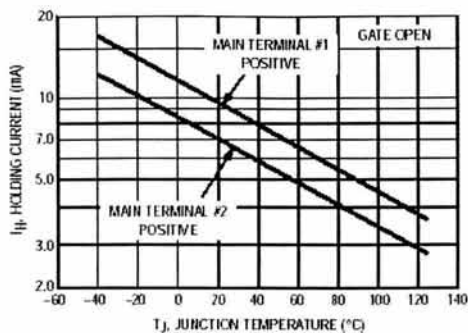


Figure 6. Typical Holding Current

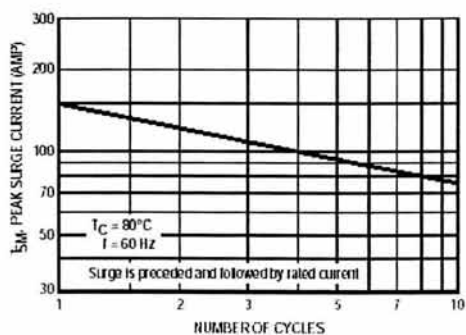


Figure 7. Maximum Non-Repetitive Surge Current

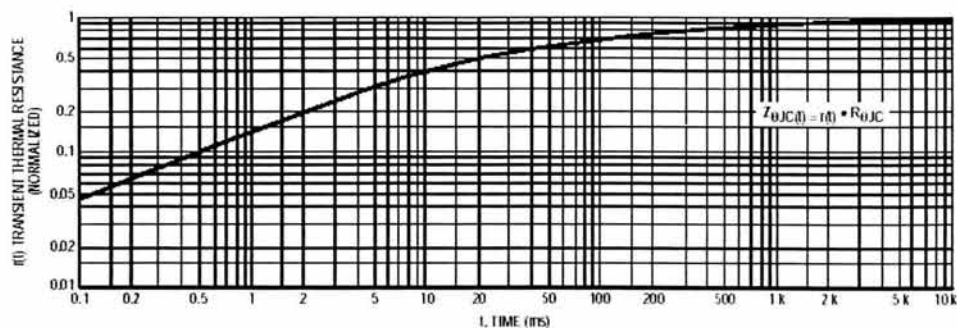
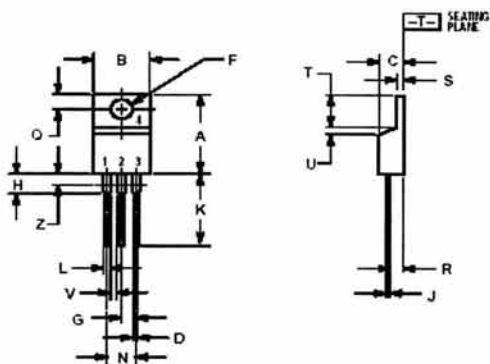


Figure 8. Thermal Response

MAC15 Series

PACKAGE DIMENSIONS

TO-220AB
CASE 221A-07
ISSUE Z




- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M 1992.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. DIMENSION Z DEFINES A ZONE WHERE ALL BODY AND LEAD IRREGULARITIES ARE ALLOWED.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.530	0.530	14.48	15.75
B	0.395	0.395	9.96	10.24
C	0.120	0.130	3.07	3.32
D	0.025	0.035	0.64	0.88
F	0.142	0.147	3.61	3.71
G	0.095	0.105	2.42	2.66
H	0.110	0.155	2.80	3.93
J	0.014	0.022	0.35	0.55
K	0.500	0.522	12.70	13.27
L	0.015	0.020	0.38	0.51
M	0.190	0.210	4.83	5.33
U	0.100	0.120	2.54	3.05
R	0.007	0.110	0.18	2.79
S	0.025	0.065	0.64	1.65
T	0.275	0.255	6.97	6.47
U	0.000	0.010	0.00	0.25
V	0.045	---	1.15	---
Z	---	0.010	---	0.25

- STYLE 4:
1. MARK TETRABIAL 1
2. MARK TETRABIAL 2
3. GATE
4. MARK TETRABIAL 2

MAC15 Series

ON Semiconductor and  are trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC (SCILLC). SCILLC reserves the right to make changes without further notice to any products herein. SCILLC makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does SCILLC assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in SCILLC data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. SCILLC does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. SCILLC products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the SCILLC product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use SCILLC products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold SCILLC and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that SCILLC was negligent regarding the design or manufacture of the part. SCILLC is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

PUBLICATION ORDERING INFORMATION

NORTH AMERICA Literature Fulfillment:

Literature Distribution Center for ON Semiconductor
P.O. Box 5163, Denver, Colorado 80217 USA
Phone: 303-675-2175 or 800-344-3860 Toll Free USA/Canada
Fax: 303-675-2176 or 800-344-3867 Toll Free USA/Canada
Email: ONlit@hibbertco.com
Fax Response Line: 303-675-2167 or 800-344-3810 Toll Free USA/Canada

N. American Technical Support: 800-282-9856 Toll Free USA/Canada

EUROPE: LDC for ON Semiconductor – European Support

German Phone: (+1) 303-308-7140 (M-F 1:00pm to 5:00pm Munich Time)
Email: ONlit-german@hibbertco.com
French Phone: (+1) 303-308-7141 (M-F 1:00pm to 5:00pm Toulouse Time)
Email: ONlit-french@hibbertco.com
English Phone: (+1) 303-308-7142 (M-F 12:00pm to 5:00pm UK Time)
Email: ONlit@hibbertco.com

EUROPEAN TOLL-FREE ACCESS: 00-900-4422-3781
*Available from Germany, France, Italy, England, Ireland

CENTRAL/SOUTH AMERICA:

Spanish Phone: 303-308-7143 (Mon-Fri 8:00am to 5:00pm MST)
Email: ONlit-spanish@hibbertco.com

ASIA/PACIFIC: LDC for ON Semiconductor – Asia Support

Phone: 303-675-2121 (Tue-Fri 9:00am to 1:00pm, Hong Kong Time)
Toll Free from Hong Kong & Singapore:
001-800-4422-3781
Email: ONlit-asia@hibbertco.com

JAPAN: ON Semiconductor, Japan Customer Focus Center
4-32-1 Nishi-Gotanda, Shinagawa-ku, Tokyo, Japan 141-8549
Phone: 81-3-6740-2746
Email: r14525@cnsemi.com

ON Semiconductor Website: <http://onsemi.com>

For additional information, please contact your local Sales Representative.

MAC15A4/D



August 1999

LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

General Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of $\pm 1/4^\circ\text{C}$ at room temperature and $\pm 3/4^\circ\text{C}$ over a full -55 to $+150^\circ\text{C}$ temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only $60\ \mu\text{A}$ from its supply, it has very low self-heating, less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a -55 to $+150^\circ\text{C}$ temperature range, while the LM35C is rated for a -40 to $+110^\circ\text{C}$ range (-10° with improved accuracy). The LM35 series is available packaged in

hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-220 package.

Features

- Calibrated directly in $^\circ\text{Celsius}$ (Centigrade)
- Linear $+10.0\ \text{mV}/^\circ\text{C}$ scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteeable (at $+25^\circ\text{C}$)
- Rated for full -55 to $+150^\circ\text{C}$ range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than $60\ \mu\text{A}$ current drain
- Low self-heating, 0.08°C in still air
- Nonlinearity only $\pm 1/4^\circ\text{C}$ typical
- Low impedance output, $0.1\ \Omega$ for $1\ \text{mA}$ load

Typical Applications

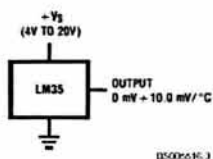
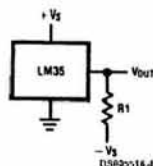


FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor
($+2^\circ\text{C}$ to $+150^\circ\text{C}$)



Choose $R_1 = -V_S/50\ \mu\text{A}$
 $V_{(OUT)} = +1,500\ \text{mV}$ at $+150^\circ\text{C}$
 $= +250\ \text{mV}$ at $+25^\circ\text{C}$
 $= -550\ \text{mV}$ at -55°C

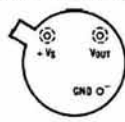
FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

TRI-STATE is a registered trademark of National Semiconductor Corporation

LM35

Connection Diagrams

TO-46
Metal Can Package*



BOTTOM VIEW
DS805514-1

*Case is connected to negative pin (GND)

Order Number LM35H, LM35AH, LM35CH, LM35CAH or LM35DH

See NS Package Number H03H

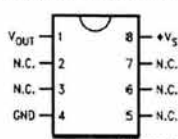
TO-92
Plastic Package



BOTTOM VIEW
DS805516-2

Order Number LM35CZ,
LM35CAZ or LM35DZ
See NS Package Number Z03A

SO-8
Small Outline Molded Package

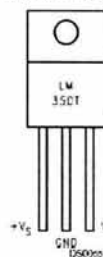


DS805516-21

N.C. = No Connection

Top View
Order Number LM35DM
See NS Package Number M08A

TO-220
Plastic Package*



DS805516-24

*Tab is connected to the negative pin (GND).

Note: The LM35DT pinout is different than the discontinued LM35DP.

Order Number LM35DT
See NS Package Number TA03F

Absolute Maximum Ratings (Note 10)

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

Supply Voltage	+35V to -0.2V
Output Voltage	+6V to -1.0V
Output Current	10 mA
Storage Temp.:	
TO-46 Package,	-60°C to +180°C
TO-92 Package,	-50°C to +150°C
SO-8 Package,	-65°C to +150°C
TO-220 Package,	-65°C to +150°C
Lead Temp.:	
TO-46 Package, (Soldering, 10 seconds)	300°C

TO-92 and TO-220 Package, (Soldering, 10 seconds)	260°C
SO Package (Note 12)	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C
ESD Susceptibility (Note 11)	2500V
Specified Operating Temperature Range: T_{MIN} to T_{MAX} (Note 2)	
LM35, LM35A	-55°C to +150°C
LM35C, LM35CA	-40°C to +110°C
LM35D	0°C to +100°C

Electrical Characteristics

(Notes 1, 6)

Parameter	Conditions	LM35A			LM35CA			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.2	± 0.5		± 0.2	± 0.5		°C
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	± 0.3			± 0.3		± 1.0	°C
	$T_A = T_{MAX}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		°C
	$T_A = T_{MIN}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4		± 1.5	°C
Nonlinearity (Note 8)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	± 0.18		± 0.35	± 0.15		± 0.3	°C
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	+10.0	+9.9, +10.1		+10.0		+9.9, +10.1	mV/°C
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 10\text{ mA}$	$T_A = +25^\circ\text{C}$ $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	± 0.4 ± 0.5	± 1.0	± 3.0	± 0.4 ± 0.5	± 1.0	± 3.0	mV/mA mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$ $4V \leq V_S \leq 30V$	± 0.01 ± 0.02	± 0.05	± 0.1	± 0.01 ± 0.02	± 0.05	± 0.1	mV/V mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5V, +25^\circ\text{C}$	56	67		56	67		μA
	$V_S = +5V$	105		131	91		114	μA
	$V_S = +30V, +25^\circ\text{C}$	56.2	68		56.2	68		μA
	$V_S = +30V$	105.5		133	91.5		116	μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4V \leq V_S \leq 30V, +25^\circ\text{C}$	0.2	1.0		0.2	1.0		μA
	$4V \leq V_S \leq 30V$	0.5		2.0	0.5		2.0	μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+0.39		+0.5	+0.39		+0.5	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of Figure 1, $I_L = 0$	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	°C
Long Term Stability	$T_J = T_{MAX}$, for 1000 hours	± 0.08			± 0.08			°C

LM35

Electrical Characteristics

(Notes 1, 6)

Parameter	Conditions	LM35			LM35C, LM35D			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy, LM35, LM35C (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		$^\circ\text{C}$
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	± 0.5			± 0.5		± 1.5	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$	± 0.8	± 1.5		± 0.8		± 1.5	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$	± 0.8		± 1.5	± 0.8		± 2.0	$^\circ\text{C}$
Accuracy, LM35D (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$				± 0.6	± 1.5		$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$				± 0.9		± 2.0	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$				± 0.9		± 2.0	$^\circ\text{C}$
Nonlinearity (Note 8)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	± 0.3		± 0.5	± 0.2		± 0.5	$^\circ\text{C}$
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	+10.0	+9.8, +10.2		+10.0		+9.8, +10.2	mV/ $^\circ\text{C}$
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1\text{ mA}$	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 2.0		± 0.4	± 2.0		mV/mA
	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	± 0.5		± 5.0	± 0.5		± 5.0	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.01	± 0.1		± 0.01	± 0.1		mV/V
	$4V \leq V_S \leq 30V$	± 0.02		± 0.2	± 0.02		± 0.2	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5V, +25^\circ\text{C}$	56	80		56	80		μA
	$V_S = +5V$	105		158	91		138	μA
	$V_S = +30V, +25^\circ\text{C}$	56.2	82		56.2	82		μA
	$V_S = +30V$	105.5		161	91.5		141	μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4V \leq V_S \leq 30V, +25^\circ\text{C}$	0.2	2.0		0.2	2.0		μA
	$4V \leq V_S \leq 30V$	0.5		3.0	0.5		3.0	μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+0.39		+0.7	+0.39		+0.7	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of Figure 1, $I_L = 0$	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	$^\circ\text{C}$
Long Term Stability	$T_J = T_{\text{MAX}}$, for 1000 hours	± 0.08			± 0.08			$^\circ\text{C}$

Note 1: Unless otherwise noted, these specifications apply: $-55^\circ\text{C} < T_J < +150^\circ\text{C}$ for the LM35 and LM35A; $-40^\circ\text{C} < T_J < +110^\circ\text{C}$ for the LM35C and LM35CA; and $0^\circ\text{C} < T_J < +100^\circ\text{C}$ for the LM35D. $V_S = +5Vdc$ and $I_{\text{OAP}} = 50\ \mu\text{A}$ in the circuit of Figure 2. These specifications also apply from $+2^\circ\text{C}$ to T_{MAX} in the circuit of Figure 1. Specifications in boldface apply over the full rated temperature range.

Note 2: Thermal resistance of the TO-46 package is 400 $^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to ambient, and 24 $^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to case. Thermal resistance of the TO-92 package is 180 $^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to ambient. Thermal resistance of the small outline molded package is 220 $^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to ambient. Thermal resistance of the TO-220 package is 90 $^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to ambient. For additional thermal resistance information see table in the Applications section.

Note 3: Regulation is measured at constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output due to heating effects can be computed by multiplying the internal dissipation by the thermal resistance.

Note 4: Tested Limits are guaranteed and 100% tested in production.

Note 5: Design Limits are guaranteed (but not 100% production tested) over the indicated temperature and supply voltage ranges. These limits are not used to calculate outgoing quality levels.

Note 6: Specifications in boldface apply over the full rated temperature range.

Note 7: Accuracy is defined as the error between the output voltage and $10\text{mV}/^\circ\text{C}$ times the device's case temperature, at specified conditions of voltage, current, and temperature (expressed in $^\circ\text{C}$).

Note 8: Nonlinearity is defined as the deviation of the output-voltage-versus-temperature curve from the best-fit straight line, over the device's rated temperature range.

Note 9: Quiescent current is defined in the circuit of Figure 1.

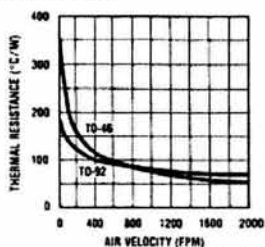
Note 10: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its rated operating conditions. See Note 1.

Note 11: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k Ω resistor.

Note 12: See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" or the section titled "Surface Mount" found in a current National Semiconductor Linear Data Book for other methods of soldering surface mount devices.

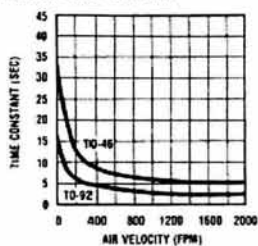
Typical Performance Characteristics

Thermal Resistance
Junction to Air



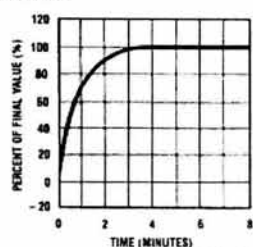
DS009616-25

Thermal Time Constant



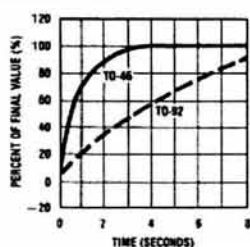
DS009616-26

Thermal Response
in Still Air



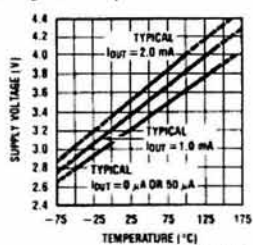
DS009616-27

Thermal Response in
Stirred Oil Bath



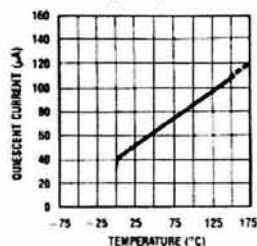
DS009616-28

Minimum Supply
Voltage vs. Temperature



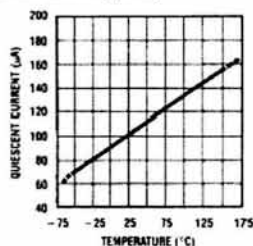
DS009616-29

Quiescent Current
vs. Temperature
(In Circuit of Figure 1.)



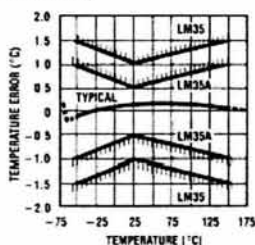
DS009616-30

Quiescent Current
vs. Temperature
(In Circuit of Figure 2.)



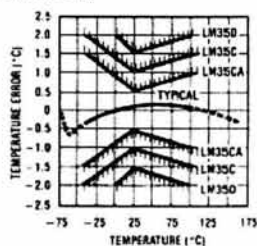
DS009616-31

Accuracy vs. Temperature
(Guaranteed)



DS009616-32

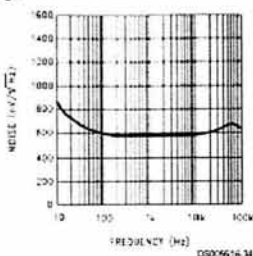
Accuracy vs. Temperature
(Guaranteed)



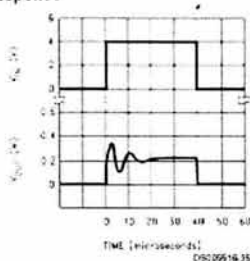
DS009616-33

Typical Performance Characteristics (Continued)

Noise Voltage



Start-Up Response



Applications

The LM35 can be applied easily in the same way as other integrated-circuit temperature sensors. It can be glued or cemented to a surface and its temperature will be within about 0.01°C of the surface temperature.

This presumes that the ambient air temperature is almost the same as the surface temperature; if the air temperature were much higher or lower than the surface temperature, the actual temperature of the LM35 die would be at an intermediate temperature between the surface temperature and the air temperature. This is especially true for the TO-92 plastic package, where the copper leads are the principal thermal path to carry heat into the device, so its temperature might be closer to the air temperature than to the surface temperature.

To minimize this problem, be sure that the wiring to the LM35, as it leaves the device, is held at the same temperature as the surface of interest. The easiest way to do this is to cover up these wires with a bead of epoxy which will insure that the leads and wires are all at the same temperature as the surface, and that the LM35 die's temperature will not be affected by the air temperature.

The TO-46 metal package can also be soldered to a metal surface or pipe without damage. Of course, in that case the V-terminal of the circuit will be grounded to that metal. Alternatively, the LM35 can be mounted inside a sealed-end metal tube, and can then be dipped into a bath or screwed into a threaded hole in a tank. As with any IC, the LM35 and accompanying wiring and circuits must be kept insulated and dry, to avoid leakage and corrosion. This is especially true if the circuit may operate at cold temperatures where condensation can occur. Printed-circuit coatings and varnishes such as Humiseal and epoxy paints or dips are often used to insure that moisture cannot corrode the LM35 or its connections.

These devices are sometimes soldered to a small light-weight heat fin, to decrease the thermal time constant and speed up the response in slowly-moving air. On the other hand, a small thermal mass may be added to the sensor, to give the steadiest reading despite small deviations in the air temperature.

Temperature Rise of LM35 Due To Self-heating (Thermal Resistance, θ_{JA})

	TO-46, no heat sink	TO-46*, small heat fin	TO-92, no heat sink	TO-92**, small heat fin	SO-8 no heat sink	SO-8** small heat fin	TO-220 no heat sink
Still air	400 C/W	100 C/W	180 C/W	140 C/W	220 C/W	110 C/W	90 C/W
Moving air	100 C/W	40 C/W	90 C/W	70 C/W	105 C/W	90 C/W	25 C/W
Still oil	100 C/W	40 C/W	90 C/W	70 C/W			
Stirred oil	50 C/W	30 C/W	45 C/W	40 C/W			
(Clamped to metal, infinite heat sink)		(24 C/W)				(55 C/W)	

*Wakefield type 201, or 1" disc of 0.020" sheet brass, soldered to case, or similar.

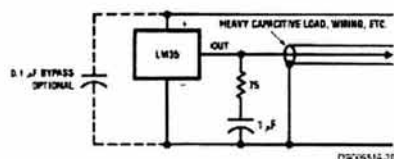
**TO-92 and SO-8 packages glued and leads soldered to 1" square of 1.16" printed circuit board with 2 oz. (oz.) or similar.

Typical Applications



DS00516-16

FIGURE 3. LM35 with Decoupling from Capacitive Load



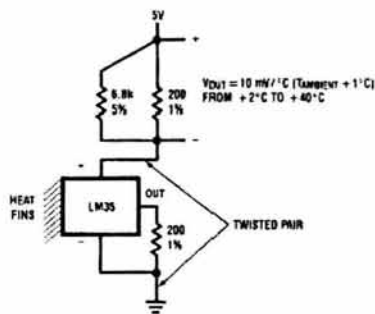
DS00514-20

FIGURE 4. LM35 with R-C Damper

CAPACITIVE LOADS

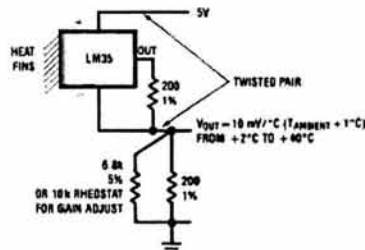
Like most micropower circuits, the LM35 has a limited ability to drive heavy capacitive loads. The LM35 by itself is able to drive 50 pF without special precautions. If heavier loads are anticipated, it is easy to isolate or decouple the load with a resistor; see Figure 3. Or you can improve the tolerance of capacitance with a series R-C damper from output to ground; see Figure 4.

When the LM35 is applied with a 200Ω load resistor as shown in Figure 5, Figure 6 or Figure 8 it is relatively immune to wiring capacitance because the capacitance forms a bypass from ground to input, not on the output. However, as with any linear circuit connected to wires in a hostile environment, its performance can be affected adversely by intense electromagnetic sources such as relays, radio transmitters, motors with arcing brushes, SCR transients, etc., as its wiring can act as a receiving antenna and its internal junctions can act as rectifiers. For best results in such cases, a bypass capacitor from V_{IN} to ground and a series R-C damper such as 75Ω in series with 0.2 or 1 μF from output to ground are often useful. These are shown in Figure 13, Figure 14, and Figure 16.



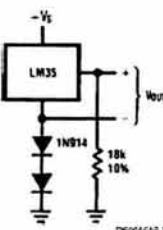
DS00516-5

FIGURE 5. Two-Wire Remote Temperature Sensor (Grounded Sensor)



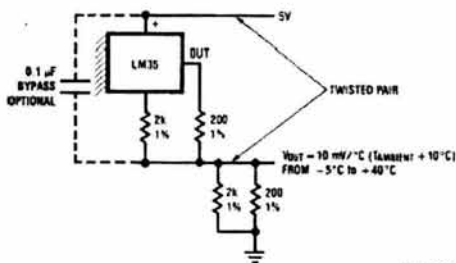
DS00616-4

FIGURE 6. Two-Wire Remote Temperature Sensor (Output Referred to Ground)



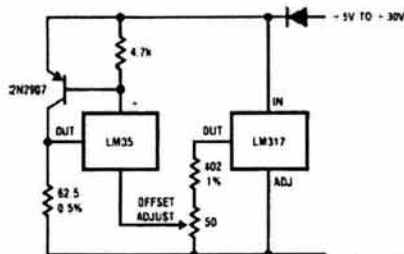
DS00516-7

FIGURE 7. Temperature Sensor, Single Supply, -55° to +150°C



DS00516-8

FIGURE 8. Two-Wire Remote Temperature Sensor (Output Referred to Ground)



DS00516-9

FIGURE 9. 4-To-20 mA Current Source (0°C to +100°C)

Typical Applications (Continued)

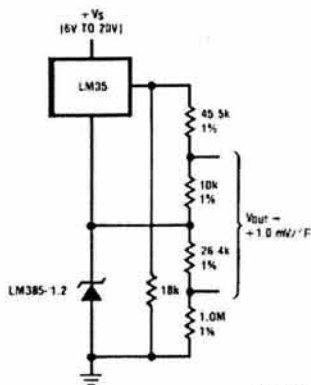


FIGURE 10. Fahrenheit Thermometer

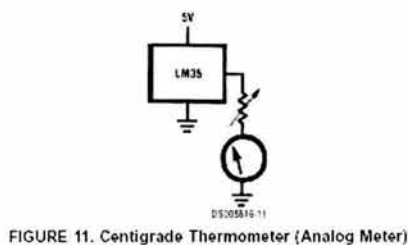


FIGURE 11. Centigrade Thermometer (Analog Meter)

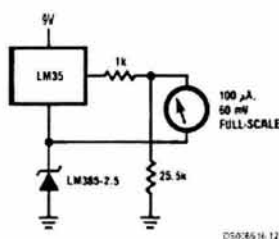


FIGURE 12. Fahrenheit Thermometer Expanded Scale Thermometer (50 to 80 Fahrenheit, for Example Shown)

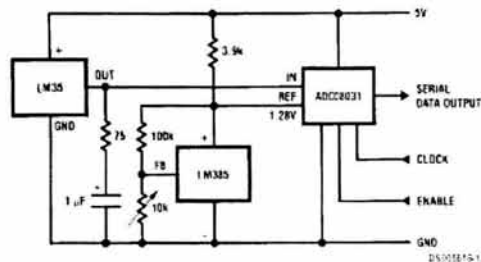
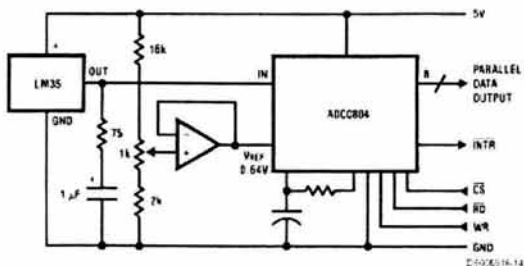
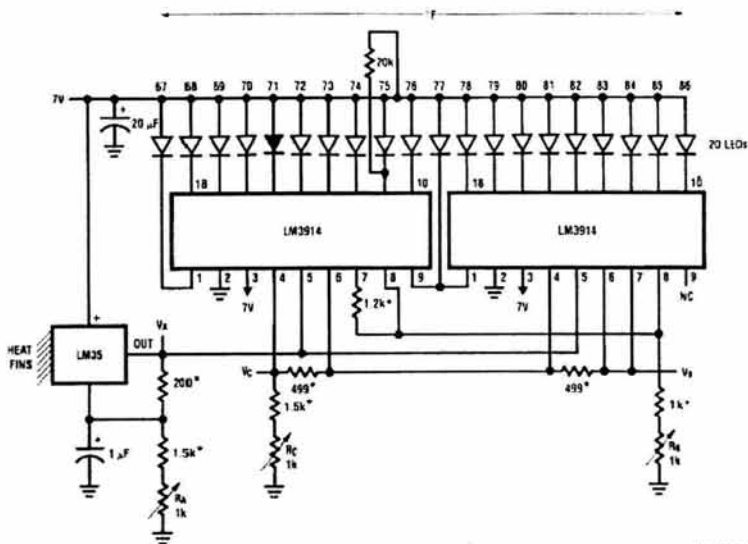


FIGURE 13. Temperature To Digital Converter (Serial Output) (+128 C Full Scale)

FIGURE 14. Temperature To Digital Converter (Parallel TRI-STATE™ Outputs for Standard Data Bus to μ P Interface) (128 C Full Scale)

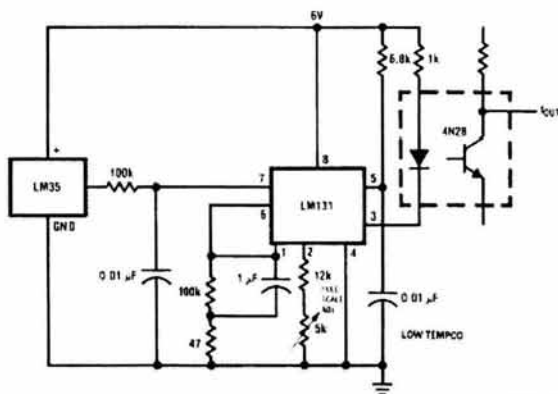
Typical Applications (Continued)



DS20516-14

* -1% or 2% 10m resistor
 Trim R_B for $V_B = 3.075V$
 Trim R_C for $V_C = 1.955V$
 Trim R_A for $V_A = 0.075V + 100mV/C \times T_{ambient}$
 Example: $V_A = 2.275V$ at $22^\circ C$

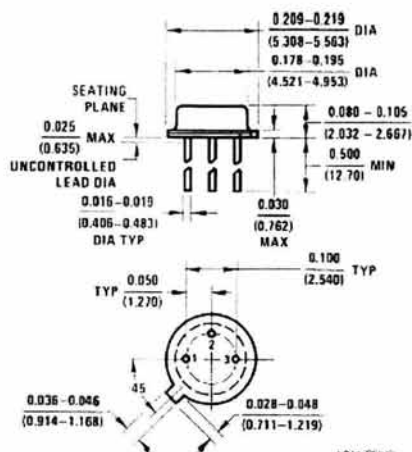
FIGURE 15. Bar-Graph Temperature Display (Dot Mode)



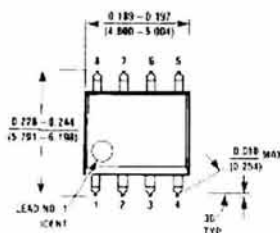
DS20516-1E

FIGURE 16. LM35 With Voltage-To-Frequency Converter And Isolated Output
($2^\circ C$ to $+150^\circ C$: 20 Hz to 1500 Hz)

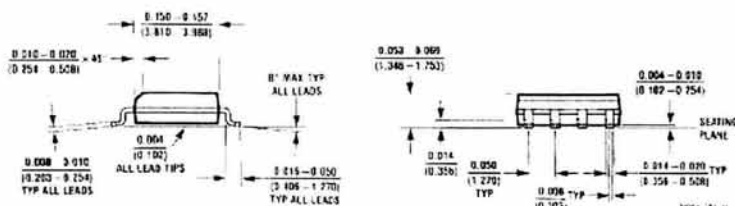
Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



TO-46 Metal Can Package (H)
Order Number LM35H, LM35AH, LM35CH,
LM35CAH, or LM35DH
NS Package Number H03H



SO-8 Molded Small Outline Package (M)
Order Number LM35DM
NS Package Number M08A



Notes

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

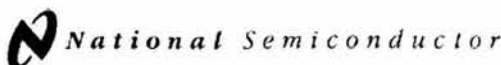
1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

 National Semiconductor Corporation
Americas
Tel: 1 800 272 9966
Fax: 1 800 737 7018
Email: support@nsc.com
www.national.com

National Semiconductor
Europe
Fax: +49 (0) 180 530 65 05
Email: europe.support@nsc.com
Deutsch: Tel: +49 (0) 69 9586 6208
English: Tel: +44 (0) 870 210 2171
Français: Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor
Asia Pacific Customer
Response Group
Tel: 65 2544400
Fax: 65 2544466
Email: apsupport@nsc.com

National Semiconductor
Japan Ltd.
Tel: 81 3 5639 7560
Fax: 81 3 5639 7567



August 1999

LM117/LM317A/LM317 3-Terminal Adjustable Regulator

General Description

The LM117 series of adjustable 3-terminal positive voltage regulators is capable of supplying in excess of 1.5A over a 1.2V to 37V output range. They are exceptionally easy to use and require only two external resistors to set the output voltage. Further, both line and load regulation are better than standard fixed regulators. Also, the LM117 is packaged in standard transistor packages which are easily mounted and handled.

In addition to higher performance than fixed regulators, the LM117 series offers full overload protection available only in IC's. Included on the chip are current limit, thermal overload protection and safe area protection. All overload protection circuitry remains fully functional even if the adjustment terminal is disconnected.

Normally, no capacitors are needed unless the device is situated more than 6 inches from the input filter capacitors in which case an input bypass is needed. An optional output capacitor can be added to improve transient response. The adjustment terminal can be bypassed to achieve very high ripple rejection ratios which are difficult to achieve with standard 3-terminal regulators.

Besides replacing fixed regulators, the LM117 is useful in a wide variety of other applications. Since the regulator is "floating" and sees only the input-to-output differential volt-

age, supplies of several hundred volts can be regulated as long as the maximum input to output differential is not exceeded, i.e., avoid short-circuiting the output.

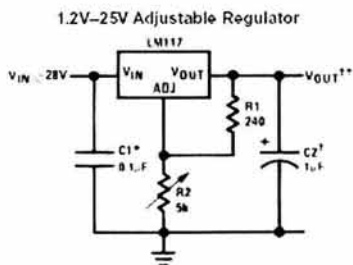
Also, it makes an especially simple adjustable switching regulator, a programmable output regulator, or by connecting a fixed resistor between the adjustment pin and output, the LM117 can be used as a precision current regulator. Supplies with electronic shutdown can be achieved by clamping the adjustment terminal to ground which programs the output to 1.2V where most loads draw little current.

For applications requiring greater output current, see LM150 series (3A) and LM138 series (5A) data sheets. For the negative complement, see LM137 series data sheet.

Features

- Guaranteed 1% output voltage tolerance (LM317A)
- Guaranteed max. 0.01%/V line regulation (LM317A)
- Guaranteed max. 0.3% load regulation (LM117)
- Guaranteed 1.5A output current
- Adjustable output down to 1.2V
- Current limit constant with temperature
- P* Product Enhancement tested
- 80 dB ripple rejection
- Output is short-circuit protected

Typical Applications



Full output current not available at high input-output voltages.

*Needed if device is more than 6 inches from filter capacitors.

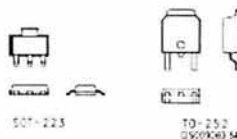
†Optional — improves transient response. Output capacitors in the range of 1µF to 1000µF of aluminum or tantalum electrolytic are commonly used to provide improved output impedance and rejection of transients.

$$V_{OUT} = 1.25V \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{ADJ}(R_2)$$

LM117 Series Packages

Part Number Suffix	Package	Design Load Current
K	TO-3	1.5A
H	TO-39	0.5A
T	TO-220	1.5A
E	LCC	0.5A
S	TO-263	1.5A
EMP	SOT-223	1A
MDT	TO-252	0.5A

SOT-223 vs D-Pak (TO-252) Packages



Absolute Maximum Ratings (Note 1)		Operating Temperature Range				
If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.		LM117	$-55^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +150^{\circ}\text{C}$			
Power Dissipation		LM317A	$-40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +125^{\circ}\text{C}$			
Input-Output Voltage Differential		LM317	$0^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +125^{\circ}\text{C}$			
Storage Temperature		Preconditioning				
Lead Temperature		Thermal Limit Burn-In		All Devices 100%		
Metal Package (Soldering, 10 seconds)		300°C				
Plastic Package (Soldering, 4 seconds)		260°C				
ESD Tolerance (Note 5)		3 kV				
Electrical Characteristics (Note 3)						
Specifications with standard type face are for $T_J = 25^{\circ}\text{C}$, and those with boldface type apply over full Operating Temperature Range. Unless otherwise specified, $V_{IN} - V_{OUT} = 5\text{V}$, and $I_{OUT} = 10\text{mA}$.						
Parameter	Conditions	LM117 (Note 2)			Units	
		Min	Typ	Max		
Reference Voltage					V	
	$3\text{V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 40\text{V}$, $10\text{mA} \leq I_{OUT} \leq I_{MAX}$, $P \leq P_{MAX}$	1.20	1.25	1.30	V	
Line Regulation	$3\text{V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 40\text{V}$ (Note 4)		0.01	0.02	%/V	
			0.02	0.05	%/V	
Load Regulation	$10\text{mA} \leq I_{OUT} \leq I_{MAX}$ (Note 4)		0.1	0.3	%	
			0.3	1	%	
Thermal Regulation	20 ms Pulse		0.03	0.07	%/W	
Adjustment Pin Current			50	100	μA	
Adjustment Pin Current Change	$10\text{mA} \leq I_{OUT} \leq I_{MAX}$, $3\text{V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 40\text{V}$		0.2	5	μA	
Temperature Stability	$T_{MIN} \leq T_J \leq T_{MAX}$		1		%	
Minimum Load Current	$(V_{IN} - V_{OUT}) = 40\text{V}$		3.5	5	mA	
Current Limit	$(V_{IN} - V_{OUT}) \leq 15\text{V}$	K Package	1.5	2.2	3.4	A
		H Packages	0.5	0.8	1.8	A
	$(V_{IN} - V_{OUT}) = 40\text{V}$	K Package	0.3	0.4		A
		H Package	0.15	0.2		A
RMS Output Noise, % of V_{OUT}	10 Hz $\leq f \leq$ 10 kHz		0.003		%	
Ripple Rejection Ratio	$V_{OUT} = 10\text{V}$, $f = 120\text{Hz}$, $C_{ADJ} = 0\mu\text{F}$		65		dB	
	$V_{OUT} = 10\text{V}$, $f = 120\text{Hz}$, $C_{ADJ} = 10\mu\text{F}$		66	80	dB	
Long-Term Stability	$T_J = 125^{\circ}\text{C}$, 1000 hrs		0.3	1	%	
Thermal Resistance, Junction-to-Case	K Package		2.3	3	$^{\circ}\text{C/W}$	
	H Package		12	15	$^{\circ}\text{C/W}$	
	E Package				$^{\circ}\text{C/W}$	
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient (No Heat Sink)	K Package		35		$^{\circ}\text{C/W}$	
	H Package		140		$^{\circ}\text{C/W}$	
	E Package				$^{\circ}\text{C/W}$	

Electrical Characteristics (Note 3)									
Specifications with standard type face are for $T_J = 25^\circ\text{C}$, and those with boldface type apply over full Operating Temperature Range. Unless otherwise specified, $V_{IN} - V_{OUT} = 5\text{V}$, and $I_{OUT} = 10\text{mA}$.									
Parameter	Conditions	LM317A			LM317			Units	
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		
Reference Voltage		1.238	1.250	1.262				V	
	$3\text{V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 40\text{V}$, $10\text{mA} \leq I_{OUT} \leq I_{MAX}$, $P \leq P_{MAX}$	1.225	1.250	1.270	1.20	1.25	1.30	V	
Line Regulation	$3\text{V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 40\text{V}$ (Note 4)		0.005	0.01		0.01	0.04	%/V	
			0.01	0.02		0.02	0.07	%/V	
Load Regulation	$10\text{mA} \leq I_{OUT} \leq I_{MAX}$ (Note 4)		0.1	0.5		0.1	0.5	%	
			0.3	1		0.3	1.5	%	
Thermal Regulation	20 ms Pulse		0.04	0.07		0.04	0.07	%/W	
Adjustment Pin Current			50	100		50	100	μA	
Adjustment Pin Current Change	$10\text{mA} \leq I_{OUT} \leq I_{MAX}$ $3\text{V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 40\text{V}$		0.2	5		0.2	5	μA	
Temperature Stability	$T_{MIN} \leq T_J \leq T_{MAX}$		1			1		%	
Minimum Load Current	$(V_{IN} - V_{OUT}) = 40\text{V}$		3.5	10		3.5	10	mA	
Current Limit	$(V_{IN} - V_{OUT}) \leq 15\text{V}$ K, T, S Packages H Package MP Package		1.5	2.2	3.4	1.5	2.2	3.4	A
			0.5	0.8	1.8	0.5	0.8	1.8	A
			1.5	2.2	3.4	1.5	2.2	3.4	A
	$(V_{IN} - V_{OUT}) = 40\text{V}$ K, T, S Packages H Package MP Package		0.15	0.4		0.15	0.4		A
			0.075	0.2		0.075	0.2		A
			0.55	0.4		0.15	0.4		A
RMS Output Noise, % of V_{OUT}	$10\text{Hz} \leq f \leq 10\text{kHz}$		0.003			0.003		%	
Ripple Rejection Ratio	$V_{OUT} = 10\text{V}$, $f = 120\text{Hz}$, $C_{ADJ} = 0\mu\text{F}$		65			65		dB	
	$V_{OUT} = 10\text{V}$, $f = 120\text{Hz}$, $C_{ADJ} = 10\mu\text{F}$		66	80		66	80	dB	
Long-Term Stability	$T_J = 125^\circ\text{C}$, 1000 hrs		0.3	1		0.3	1	%	
Thermal Resistance, Junction-to-Case	K Package					2.3	3	$^\circ\text{C/W}$	
	MDT Package					5		$^\circ\text{C/W}$	
	H Package		12	15		12	15	$^\circ\text{C/W}$	
	T Package		4	5		4		$^\circ\text{C/W}$	
	MP Package		23.5			23.5		$^\circ\text{C/W}$	
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient (No Heat Sink)	K Package		35			35		$^\circ\text{C/W}$	
	MDT Package (Note 6)					92		$^\circ\text{C/W}$	
	H Package		140			140		$^\circ\text{C/W}$	
	T Package		50			50		$^\circ\text{C/W}$	
	S Package (Note 6)		50			50		$^\circ\text{C/W}$	

Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is intended to be functional, but do not guarantee specific performance limits. For guaranteed specifications and test conditions, see the Electrical Characteristics. The guaranteed specifications apply only for the test conditions listed.

Note 2: Refer to RETS117H drawing for the LM117L, or the RETS117K for the LM117K military specifications.

Note 3: Although power dissipation is internally limited, these specifications are applicable for maximum power dissipations of 2W for the TO-39 and SOT-223 and 20W for the TO-3, TO-220, and TO-263. I_{MAX} is 1.5A for the TO-3, TO-220, and TO-263 packages, 0.5A for the TO-39 package and 1A for the SOT-223 Package. All limits (i.e., the numbers in the Min. and Max. columns) are guaranteed to National's AQL (Average Outgoing Quality Level).

Note 4: Regulation is measured at a constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output voltage due to heating effects are covered under the specifications for thermal regulation.

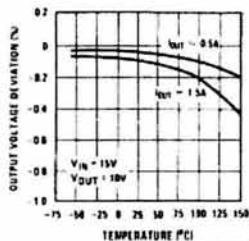
Note 5: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k Ω resistor.

Note 6: If the TO-263 or TO-252 packages are used, the thermal resistance can be reduced by increasing the PC board copper area thermally connected to the package. If the SOT-223 package is used, the thermal resistance can be reduced by increasing the PC board copper area (see application hints for heatsinking).

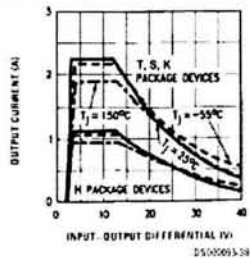
Typical Performance Characteristics

Output Capacitor = 0 μF unless otherwise noted

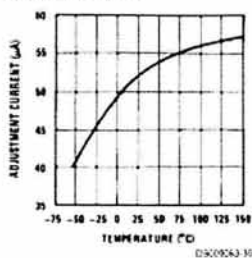
Load Regulation



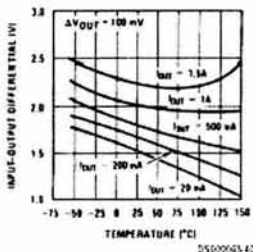
Current Limit



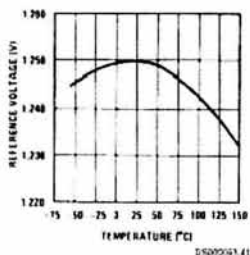
Adjustment Current



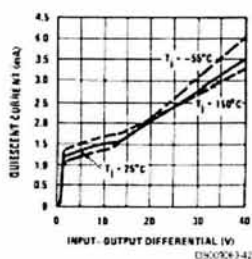
Dropout Voltage



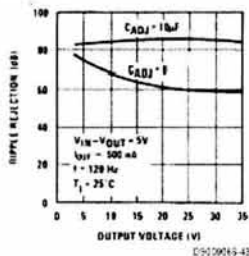
Temperature Stability



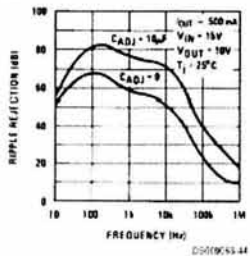
Minimum Operating Current



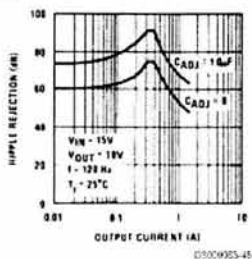
Ripple Rejection



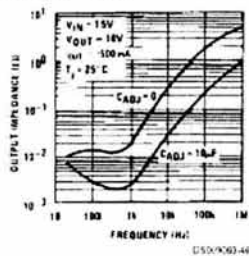
Ripple Rejection



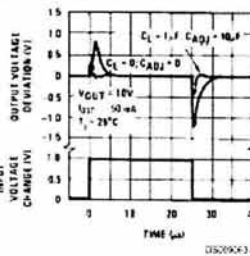
Ripple Rejection



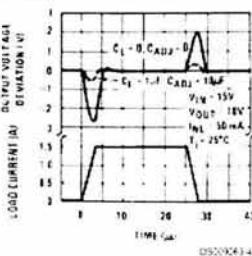
Output Impedance



Line Transient Response



Load Transient Response



Application Hints

In operation, the LM117 develops a nominal 1.25V reference voltage, V_{REF} , between the output and adjustment terminal. The reference voltage is impressed across program resistor R_1 and, since the voltage is constant, a constant current I_1 then flows through the output set resistor R_2 , giving an output voltage of

$$V_{OUT} = V_{REF} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{ADJ} R_2$$

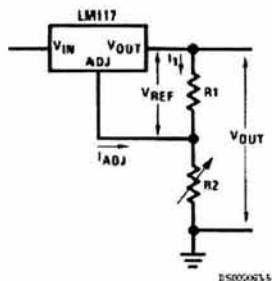


FIGURE 1.

Since the 100 μ A current from the adjustment terminal represents an error term, the LM117 was designed to minimize I_{ADJ} and make it very constant with line and load changes. To do this, all quiescent operating current is returned to the output establishing a minimum load current requirement. If there is insufficient load on the output, the output will rise.

External Capacitors

An input bypass capacitor is recommended. A 0.1 μ F disc or 1 μ F solid tantalum on the input is suitable input bypassing for almost all applications. The device is more sensitive to the absence of input bypassing when adjustment or output capacitors are used but the above values will eliminate the possibility of problems.

The adjustment terminal can be bypassed to ground on the LM117 to improve ripple rejection. This bypass capacitor prevents ripple from being amplified as the output voltage is increased. With a 10 μ F bypass capacitor 80 dB ripple rejection is obtainable at any output level. Increases over 10 μ F do not appreciably improve the ripple rejection at frequencies above 120 Hz. If the bypass capacitor is used, it is sometimes necessary to include protection diodes to prevent the capacitor from discharging through internal low current paths and damaging the device.

In general, the best type of capacitors to use is solid tantalum. Solid tantalum capacitors have low impedance even at high frequencies. Depending upon capacitor construction, it takes about 25 μ F in aluminum electrolytic to equal 1 μ F solid tantalum at high frequencies. Ceramic capacitors are also good at high frequencies; but some types have a large decrease in capacitance at frequencies around 0.5 MHz. For this reason, 0.01 μ F disc may seem to work better than a 0.1 μ F disc as a bypass.

Although the LM117 is stable with no output capacitors, like any feedback circuit, certain values of external capacitance can cause excessive ringing. This occurs with values between 500 pF and 5000 pF. A 1 μ F solid tantalum (or 25 μ F

aluminum electrolytic) on the output swamps this effect and insures stability. Any increase of the load capacitance larger than 10 μ F will merely improve the loop stability and output impedance.

Load Regulation

The LM117 is capable of providing extremely good load regulation but a few precautions are needed to obtain maximum performance. The current set resistor connected between the adjustment terminal and the output terminal (usually 240 Ω) should be tied directly to the output (case) of the regulator rather than near the load. This eliminates line drops from appearing effectively in series with the reference and degrading regulation. For example, a 15V regulator with 0.05 Ω resistance between the regulator and load will have a load regulation due to line resistance of 0.05 $\Omega \times I_L$. If the set resistor is connected near the load the effective line resistance will be 0.05 $\Omega (1 + R_2/R_1)$ or in this case, 11.5 times worse.

Figure 2 shows the effect of resistance between the regulator and 240 Ω set resistor.

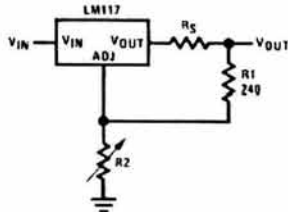


FIGURE 2. Regulator with Line Resistance in Output Lead

With the TO-3 package, it is easy to minimize the resistance from the case to the set resistor, by using two separate leads to the case. However, with the TO-39 package, care should be taken to minimize the wire length of the output lead. The ground of R_2 can be returned near the ground of the load to provide remote ground sensing and improve load regulation.

Protection Diodes

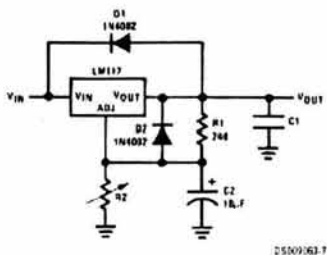
When external capacitors are used with any IC regulator it is sometimes necessary to add protection diodes to prevent the capacitors from discharging through low current points into the regulator. Most 10 μ F capacitors have low enough internal series resistance to deliver 20A spikes when shorted. Although the surge is short, there is enough energy to damage parts of the IC.

When an output capacitor is connected to a regulator and the input is shorted, the output capacitor will discharge into the output of the regulator. The discharge current depends on the value of the capacitor, the output voltage of the regulator, and the rate of decrease of V_{IN} . In the LM117, this discharge path is through a large junction that is able to sustain 15A surge with no problem. This is not true of other types of positive regulators. For output capacitors of 25 μ F or less, there is no need to use diodes.

The bypass capacitor on the adjustment terminal can discharge through a low current junction. Discharge occurs when either the input or output is shorted. Internal to the LM117 is a 50 Ω resistor which limits the peak discharge current. No protection is needed for output voltages of 25V or

Application Hints (Continued)

less and 10 μF capacitance. Figure 3 shows an LM117 with protection diodes included for use with outputs greater than 25V and high values of output capacitance.



DS00903.D

$$V_{OUT} = 1.25V \left(1 + \frac{R2}{R1} \right) + I_{ADJ}R2$$

D1 protects against C1
D2 protects against C2

FIGURE 3. Regulator with Protection Diodes

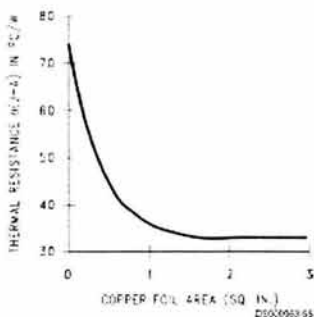
When a value for $\theta_{(H-A)}$ is found using the equation shown, a heatsink must be selected that has a value that is less than or equal to this number.

$\theta_{(H-A)}$ is specified numerically by the heatsink manufacturer in the catalog, or shown in a curve that plots temperature rise vs power dissipation for the heatsink.

HEATSINKING TO-263, SOT-223 AND TO-252 PACKAGE PARTS

The TO-263 ("S"), SOT-223 ("MP") and TO-252 ("DT") packages use a copper plane on the PCB and the PCB itself as a heatsink. To optimize the heat sinking ability of the plane and PCB, solder the tab of the package to the plane.

Figure 4 shows for the TO-263 the measured values of $\theta_{(J-A)}$ for different copper area sizes using a typical PCB with 1 ounce copper and no solder mask over the copper area used for heatsinking.

FIGURE 4. $\theta_{(J-A)}$ vs Copper (1 ounce) Area for the TO-263 Package

As shown in the figure, increasing the copper area beyond 1 square inch produces very little improvement. It should also be observed that the minimum value of $\theta_{(J-A)}$ for the TO-263 package mounted to a PCB is 32 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$.

As a design aid, Figure 5 shows the maximum allowable power dissipation compared to ambient temperature for the TO-263 device (assuming $\theta_{(J-A)}$ is 35 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ and the maximum junction temperature is 125 $^{\circ}\text{C}$).

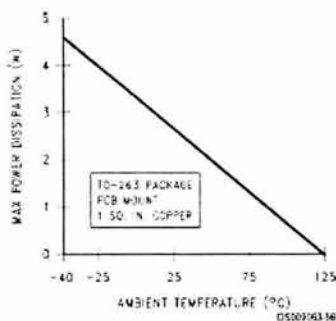
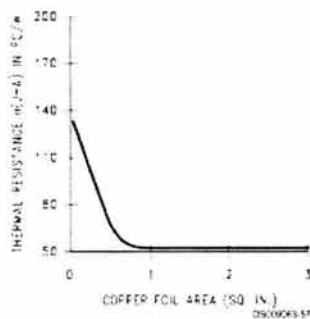
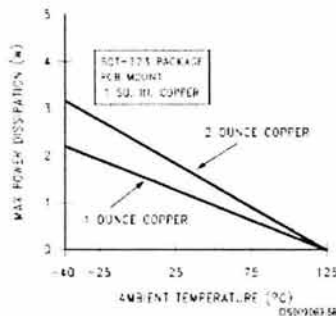
FIGURE 5. Maximum Power Dissipation vs T_{AMB} for the TO-263 Package

Figure 6 and Figure 7 show the information for the SOT-223 package. Figure 7 assumes a $\theta_{(J-A)}$ of 74 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ for 1 ounce copper and 51 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ for 2 ounce copper and a maximum junction temperature of 125 $^{\circ}\text{C}$.

FIGURE 6. $\theta_{(J-A)}$ vs Copper (2 ounce) Area for the SOT-223 PackageFIGURE 7. Maximum Power Dissipation vs T_{AMB} for the SOT-223 Package

Application Hints (Continued)

The LM317 regulators have internal thermal shutdown to protect the device from over-heating. Under all possible operating conditions, the junction temperature of the LM317 must be within the range of 0°C to 125°C. A heatsink may be required depending on the maximum power dissipation and maximum ambient temperature of the application. To determine if a heatsink is needed, the power dissipated by the regulator, P_D , must be calculated:

$$I_{IN} = I_L + I_G$$

$$P_D = (V_{IN} - V_{OUT}) I_L + V_{IN} I_G$$

Figure 8 shows the voltage and currents which are present in the circuit.

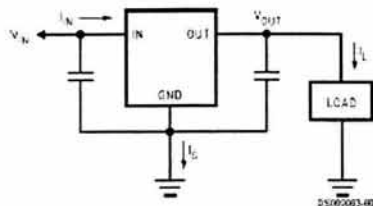


FIGURE 8. Power Dissipation Diagram

The next parameter which must be calculated is the maximum allowable temperature rise, $T_R(\max)$:

$$T_R(\max) = T_J(\max) - T_A(\max)$$

where $T_J(\max)$ is the maximum allowable junction temperature (125°C), and $T_A(\max)$ is the maximum ambient temperature which will be encountered in the application.

Using the calculated values for $T_R(\max)$ and P_D , the maximum allowable value for the junction-to-ambient thermal resistance (θ_{JA}) can be calculated:

$$\theta_{JA} = T_R(\max)/P_D$$

If the maximum allowable value for θ_{JA} is found to be $\geq 92^\circ\text{C/W}$ (Typical Rated Value) for TO-252 package, no heatsink is needed since the package alone will dissipate enough heat to satisfy these requirements. If the calculated value for θ_{JA} falls below these limits, a heatsink is required.

As a design aid, Table 1 shows the value of the θ_{JA} of TO-252 for different heatsink area. The copper patterns that we used to measure these θ_{JA} s are shown at the end of the Application Notes Section. Figure 9 reflects the same test results as what are in the Table 1

Figure 10 shows the maximum allowable power dissipation vs. ambient temperature for the TO-252 device. Figure 11 shows the maximum allowable power dissipation vs. copper area (in^2) for the TO-252 device. Please see AN1028 for power enhancement techniques to be used with SOT-223 and TO-252 packages.

TABLE 1. θ_{JA} Different Heatsink Area

Layout	Copper Area		Thermal Resistance (θ_{JA} °C/W) TO-252
	Top Side (in^2) ^a	Bottom Side (in^2)	
1	0.0123	0	103
2	0.066	0	87
3	0.3	0	60
4	0.53	0	54
5	0.76	0	52
6	1	0	47
7	0	0.2	84
8	0	0.4	70
9	0	0.6	63
10	0	0.8	57
11	0	1	57
12	0.066	0.066	89
13	0.175	0.175	72
14	0.284	0.284	61
15	0.392	0.392	55
16	0.5	0.5	53

Note: ^a Top of device attached to top side of copper.

Application Hints (Continued)

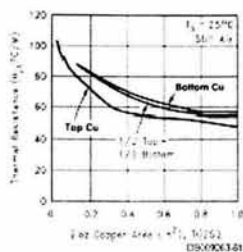
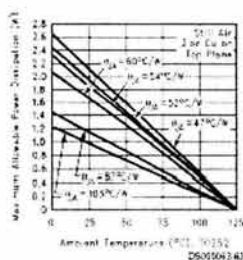
FIGURE 9. θ_{JA} vs 2oz Copper Area for TO-252

FIGURE 10. Maximum Allowable Power Dissipation vs. Ambient Temperature for TO-252

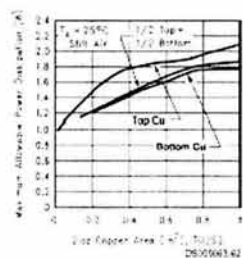


FIGURE 11. Maximum Allowable Power Dissipation vs. 2oz Copper Area for TO-252

Application Hints (Continued)

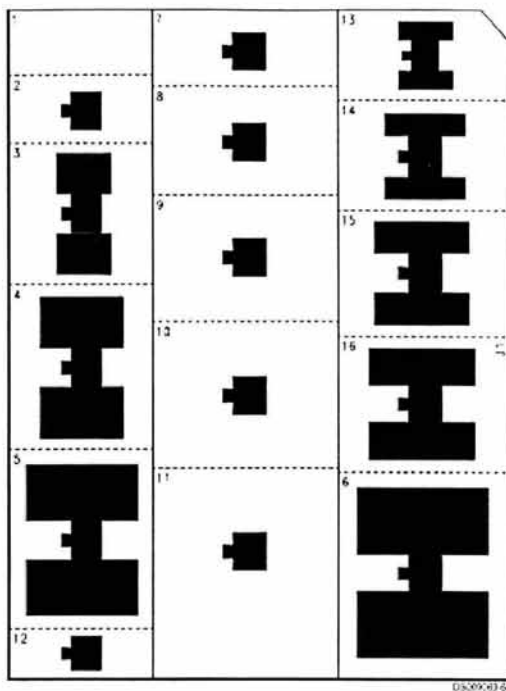


FIGURE 12. Top View of the Thermal Test Pattern in Actual Scale

Application Hints (Continued)

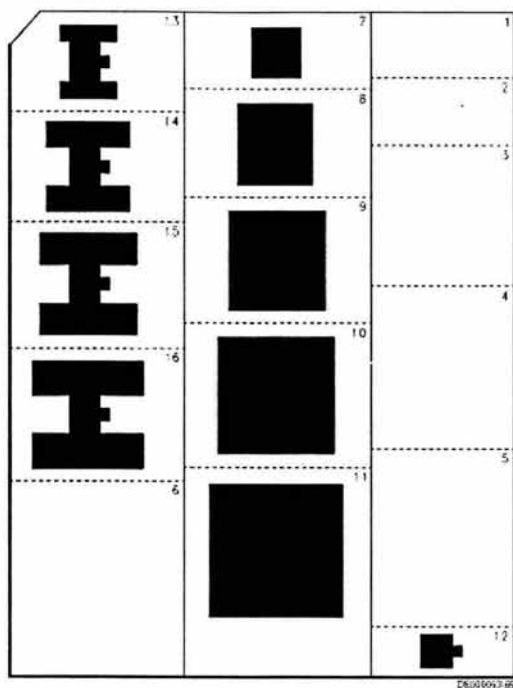
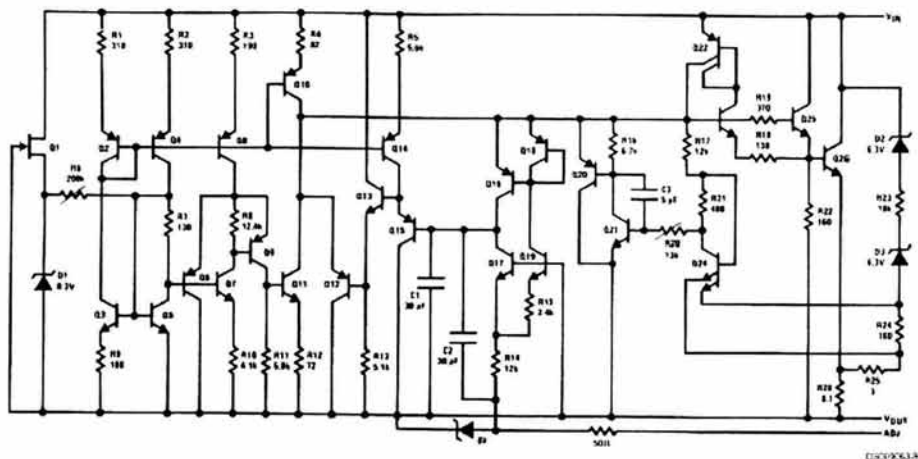


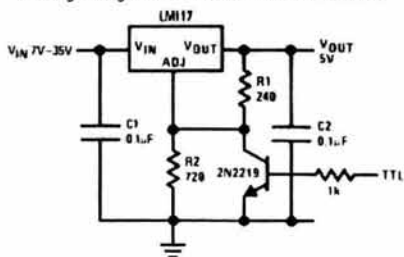
FIGURE 13. Bottom View of the Thermal Test Pattern in Actual Scale

Schematic Diagram



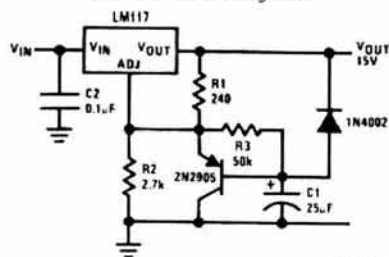
Typical Applications

5V Logic Regulator with Electronic Shutdown*



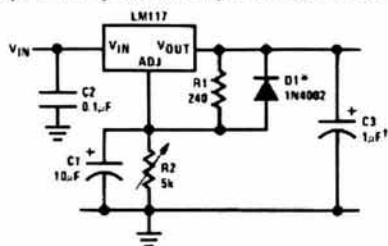
*Min. output = 1.2V

Slow Turn-On 15V Regulator



Typical Applications (Continued)

Adjustable Regulator with Improved Ripple Rejection

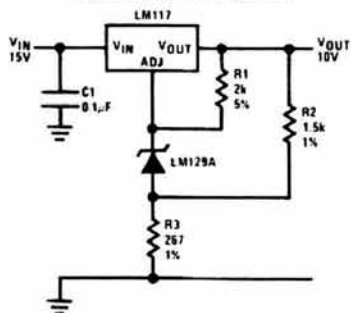


DS009063-10

*Solid tantalum

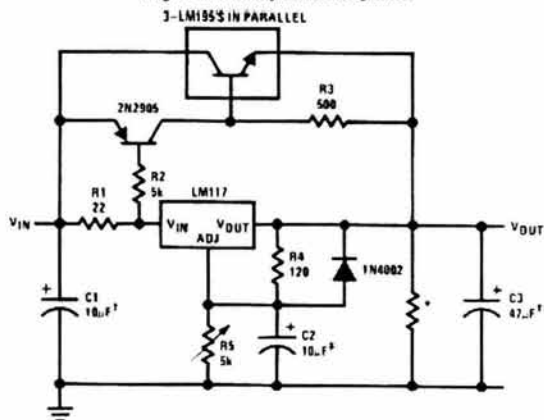
*Discharges C1 if output is shorted to ground

High Stability 10V Regulator



DS009063-11

High Current Adjustable Regulator



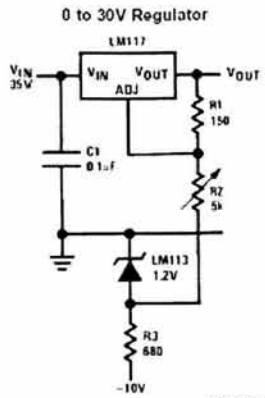
DS009063-12

†Optional — improves ripple rejection

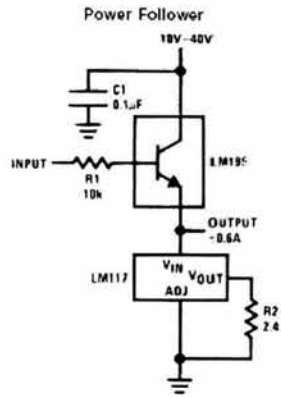
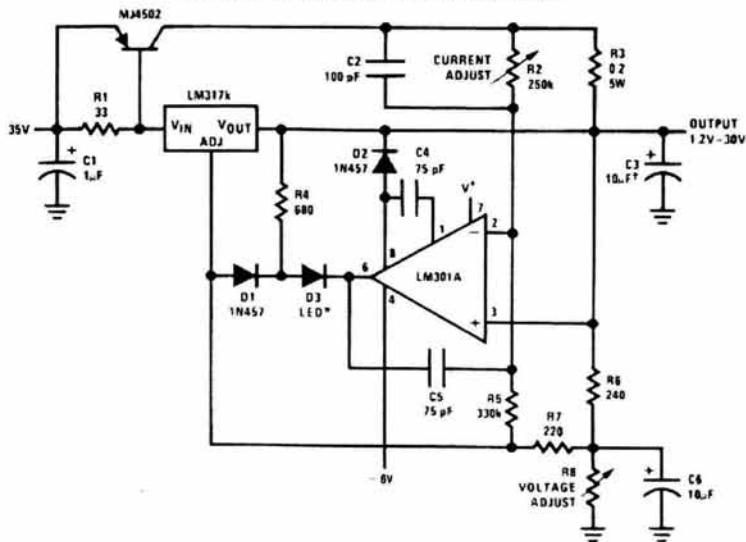
*Solid tantalum

*Minimum load current = 30 mA

Typical Applications (Continued)



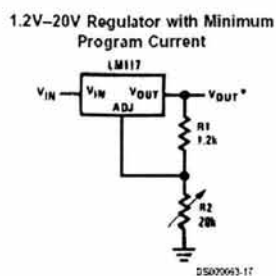
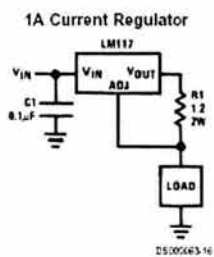
Full output current not available at high input-output voltages

**5A Constant Voltage/Constant Current Regulator**

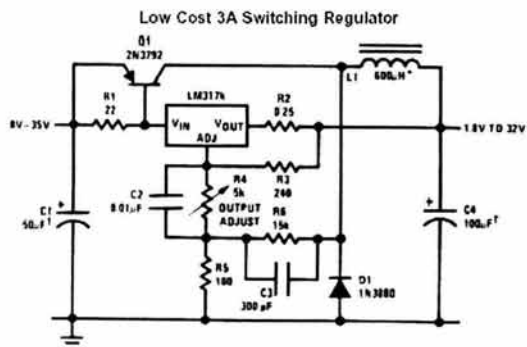
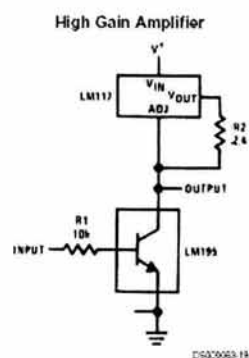
*Solid tantalum

*Lights in constant current mode

Typical Applications (Continued)



*Minimum load current = 4 mA

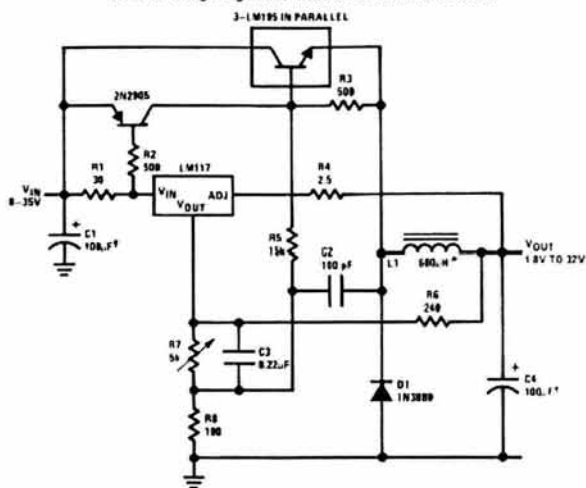


*Solid tantalum

*Core — Arnold A-254168-2 60 turns

Typical Applications (Continued)

4A Switching Regulator with Overload Protection

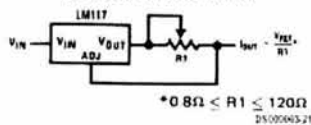


DS00045-20

!Solid tantalum

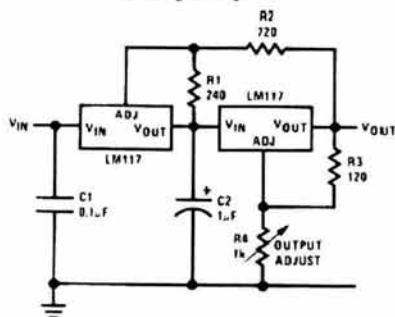
*Core — Amidon A-254168-2 60 turns

Precision Current Limiter



DS00045-21

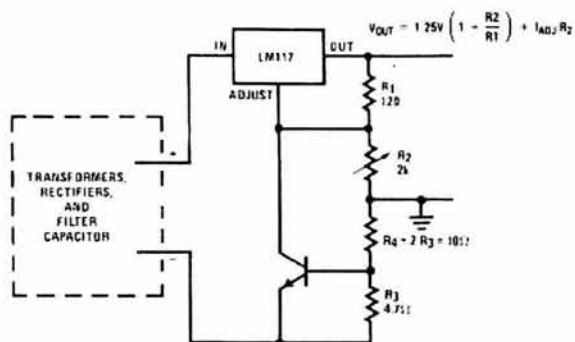
Tracking Preregulator



DS00045-22

Typical Applications (Continued)

Current Limited Voltage Regulator



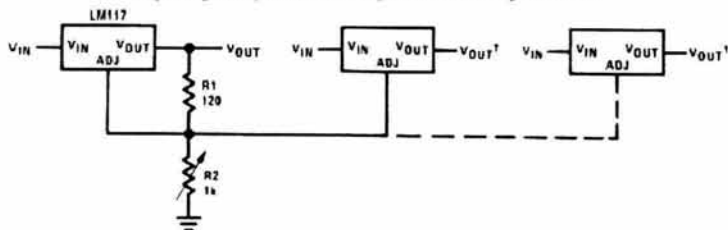
DS209K3-22

Short circuit current is approximately $\frac{600 \text{ mV}}{R_3}$ or 120 mA

(Compared to LM117's higher current limit)

— At 50 mA output only 0.4 volt of drop occurs in R_3 and R_4

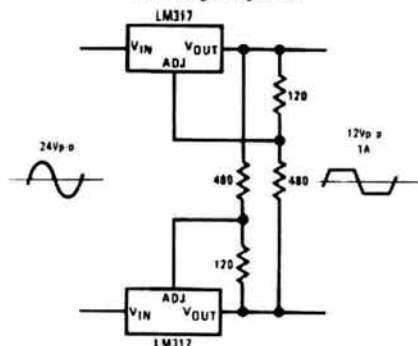
Adjusting Multiple On-Card Regulators with Single Control*



DS209K3-24

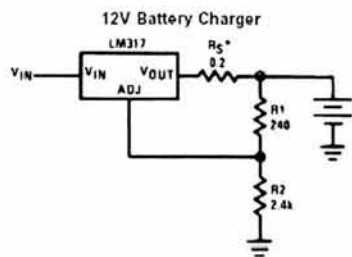
*All outputs within $\pm 100 \text{ mV}$
Minimum load—10 mA

AC Voltage Regulator



DS209K3-25

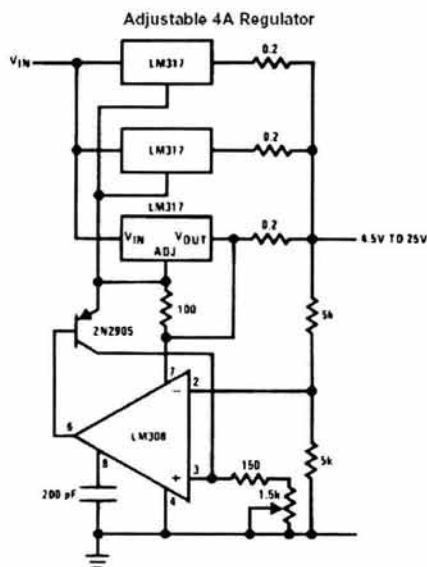
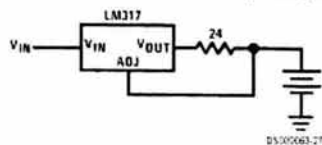
Typical Applications (Continued)



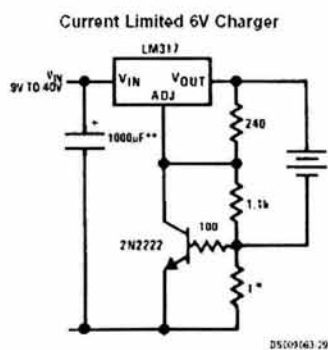
* R_S —sets output impedance of charger: $Z_{OUT} = R_S \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$

Use of R_S allows low charging rates with fully charged battery.

50 mA Constant Current Battery Charger

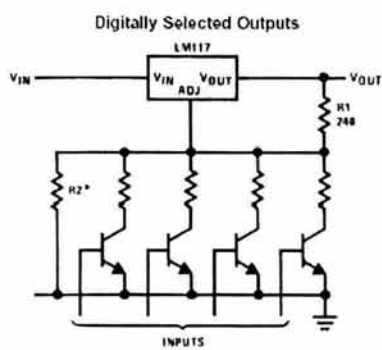


Typical Applications (Continued)



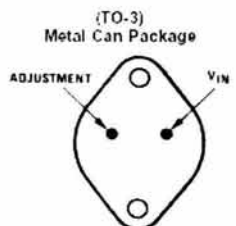
*Sets peak current (0.6A for 1k)

**The 1000 µF is recommended to filter out input transients



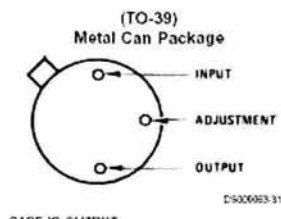
*Sets maximum V_{OUT}

Connection Diagrams



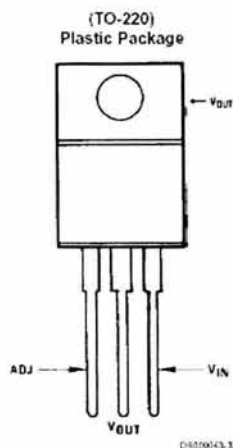
CASE IS OUTPUT

Bottom View
Steel Package
Order Number LM117K STEEL
or LM317K STEEL
See NS Package Number K02A
Order Number LM117K/883
See NS Package Number K02C



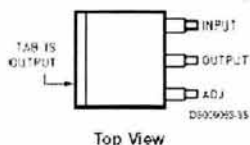
CASE IS OUTPUT

Bottom View
Order Number LM117H,
LM117H/883,
LM317AH or LM317H
See NS Package Number H03A

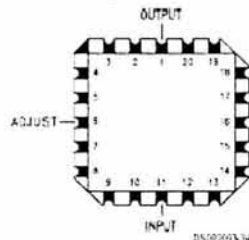


Front View
Order Number LM317AT or LM317T
See NS Package Number T03B

(TO-263) Surface-Mount Package

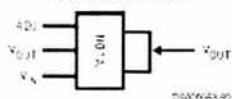


Side View
Order Number LM317S
See NS Package Number TS3B

Ceramic Leadless
Chip Carrier

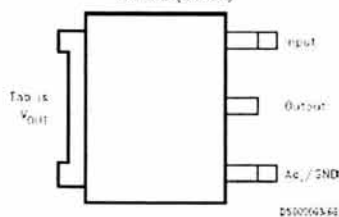
Top View
Order Number LM117E/883
See NS Package Number E20A

3-Lead SOT-223

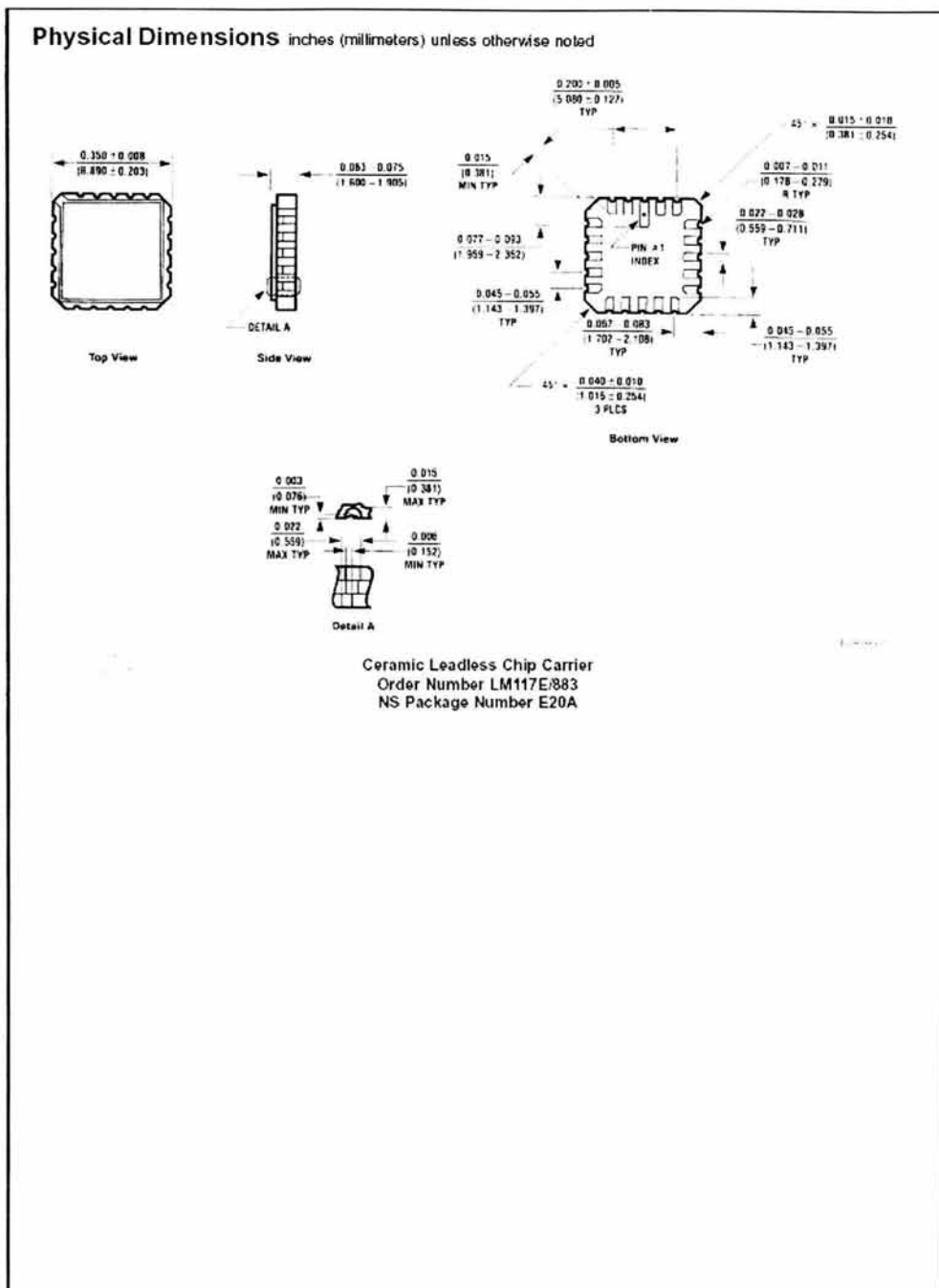


Front View
Order Part Number LM317EMP or
LM317AEMP
Package Marked N01A
See NSC Package Number MA04A

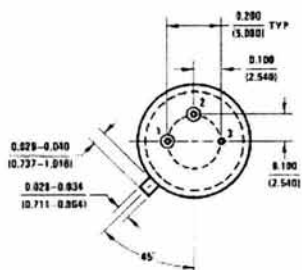
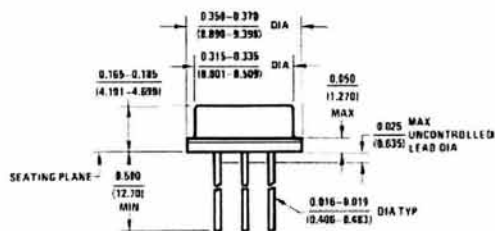
TO-252 (D-Pak)



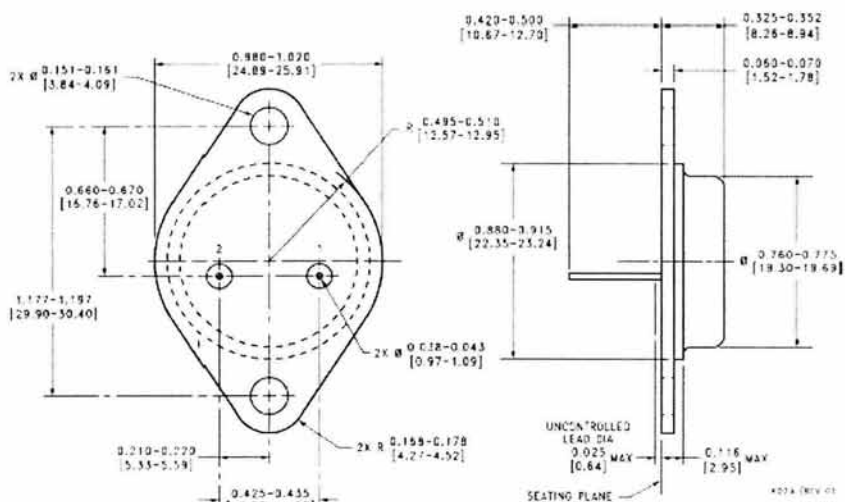
Front View
Order Part Number LM317DT
See NSC Package Number TD03B



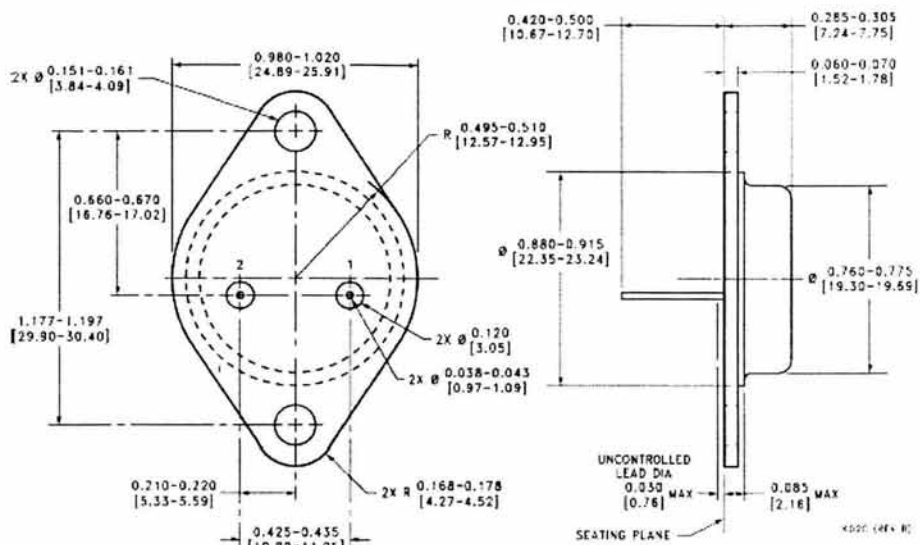
Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



(TO-39) Metal Can Package
Order Number LM117H, LM117H/883, LM317AH or LM317H
NS Package Number H03A

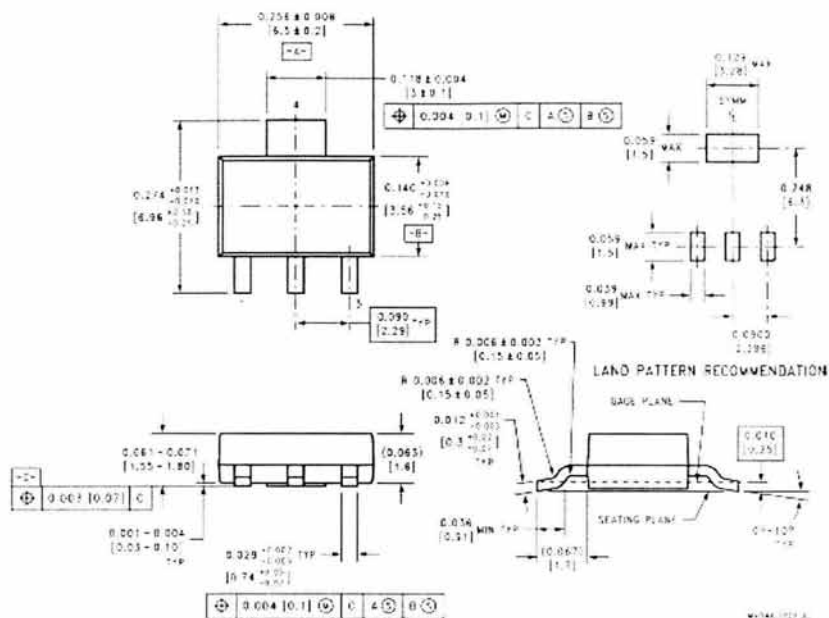


TO-3 Metal Can Package (K)
Order Number LM117K STEEL,
LM117K STEEL/883, or LM317K STEEL
NS Package Number K02A

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)


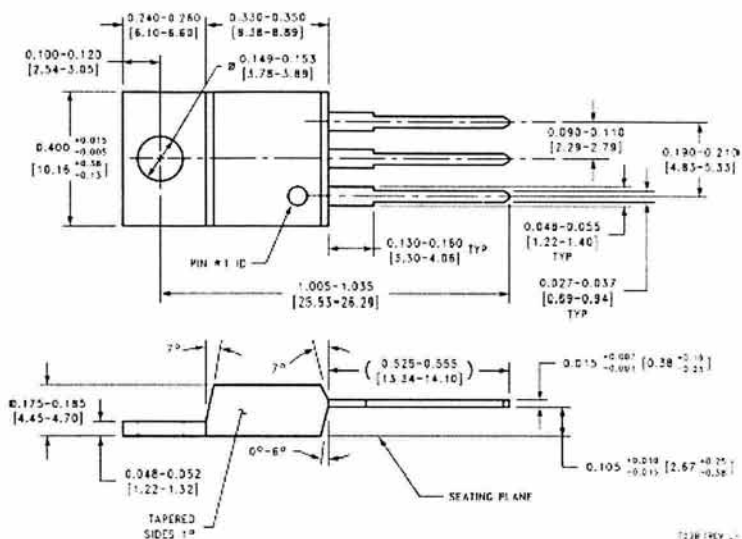
TO-3 Metal Can Package (K)
Mil-Aero Product
Order Number LM117K/883
NS Package Number K02C

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



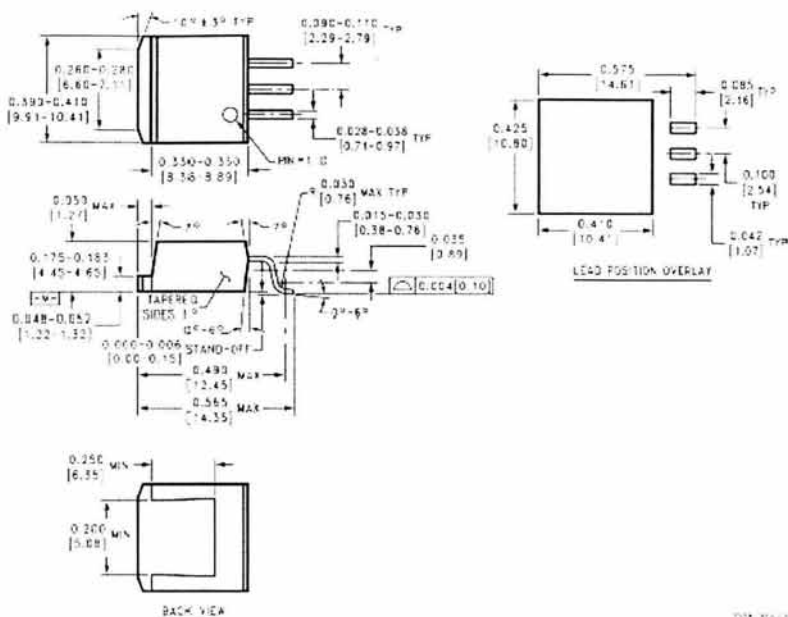
3-Lead SOT-223 Package
 Order Number LM317AEMP or LM317EMP
 NS Package Number MA04A

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



(TO-220) Outline Drawing
Order Number LM317AT or LM317T
NS Package Number T03B

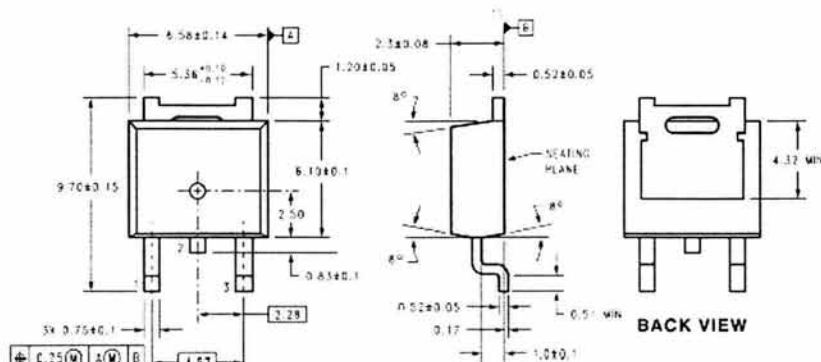
Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



Order Number LM317S
NS Package Number TS3B

709-10-11

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS


Order Number LM317MDT
NS Package Number TD03B

Table 474-1

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

 National Semiconductor
Corporation
Americas
Tel: 1.800.272.9959
Fax: 1.800.737.7018
Email: support@nsc.com

www.national.com

National Semiconductor
Europe
Fax: +49 (0) 1 80 530 85 86
Email: europe.support@nsc.com
Deutsch Tel: +49 (0) 1 80 530 85 86
English Tel: +49 (0) 1 80 532 78 32
Français Tel: +49 (0) 1 80 532 93 58
Italiano Tel: +49 (0) 1 80 531 16 80

National Semiconductor
Asia Pacific Customer
Response Group
Tel: 65.2544466
Fax: 65.2594400
Email: sea.support@nsc.com

National Semiconductor
Japan Ltd.
Tel: 81-3-5639-7560
Fax: 81-3-5639-7567

National does not assume any responsibility for use of any circuit described in its circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.



May 1999

LM137/LM337

3-Terminal Adjustable Negative Regulators

General Description

The LM137/LM337 are adjustable 3-terminal negative voltage regulators capable of supplying in excess of -1.5A over an output voltage range of -1.2V to -37V. These regulators are exceptionally easy to apply, requiring only 2 external resistors to set the output voltage and 1 output capacitor for frequency compensation. The circuit design has been optimized for excellent regulation and low thermal transients. Further, the LM137 series features internal current limiting, thermal shutdown and safe-area compensation, making them virtually blowout-proof against overloads.

The LM137/LM337 serve a wide variety of applications including local on-card regulation, programmable-output voltage regulation or precision current regulation. The LM137/LM337 are ideal complements to the LM117/LM317 adjustable positive regulators.

Features

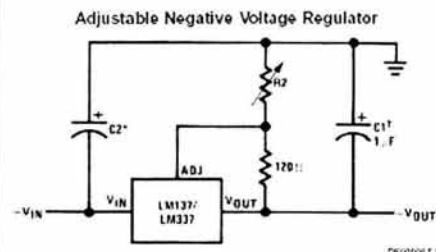
- Output voltage adjustable from -1.2V to -37V
- 1.5A output current guaranteed, -55°C to +150°C
- Line regulation typically 0.01%/V
- Load regulation typically 0.3%
- Excellent thermal regulation, 0.002%/W

- 77 dB ripple rejection
- Excellent rejection of thermal transients
- 50 ppm/°C temperature coefficient
- Temperature-independent current limit
- Internal thermal overload protection
- P* Product Enhancement tested
- Standard 3-lead transistor package
- Output is short circuit protected

LM137 Series Packages and Power Capability

Device	Package	Rated Power Dissipation	Design Load Current
LM137/337	TO-3 (K)	20W	1.5A
	TO-39 (H)	2W	0.5A
LM337	TO-220 (T)	15W	1.5A
LM337	SOT-223 (MP)	2W	1A

Typical Applications



Full output current not available at high input/output voltages.

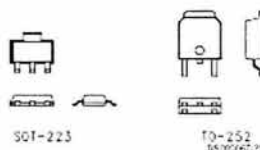
$$V_{OUT} = -1.25V \left(1 + \frac{R2}{120} \right) + (I_{ADJ} \cdot R2)$$

*C1 = 1 μF solid tantalum or 10 μF aluminum electrolytic required for stability.

*C2 = 1 μF solid tantalum is required only if regulator is more than 4" from power supply filter capacitor.

Output capacitors in the range of 1 μF to 1000 μF of aluminum or tantalum electrolytic are commonly used to provide improved output impedance and rejection of transients.

Comparison between SOT-223 and D-Pak (TO-252) Packages



Scale 1:1

Absolute Maximum Ratings (Notes 1, 4)

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

Power Dissipation	Internally Limited
Input-Output Voltage Differential	40V
Operating Junction Temperature Range LM137	-55°C to +150°C

LM337	0°C to +125°C
Storage Temperature	-65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)	300°C
Plastic Package (Soldering, 4 sec.)	260°C
ESD Rating	2k Volts

Electrical Characteristics

(Note 1)

Parameter	Conditions	LM137			LM337			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Line Regulation	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $3\text{V} \leq V_{IN} - V_{OUT} \leq 40\text{V}$ (Note 2) $I_L = 10\text{ mA}$		0.01	0.02		0.01	0.04	%/V
Load Regulation	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $10\text{ mA} \leq I_{OUT} \leq I_{MAX}$		0.3	0.5		0.3	1.0	%
Thermal Regulation	$T_J = 25^\circ\text{C}$, 10 ms Pulse		0.002	0.02		0.003	0.04	%/W
Adjustment Pin Current			65	100		65	100	μA
Adjustment Pin Current Change	$10\text{ mA} \leq I_L \leq I_{MAX}$ $3.0\text{V} \leq V_{IN} - V_{OUT} \leq 40\text{V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$		2	5		2	5	μA
Reference Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$ (Note 3) $3\text{V} \leq V_{IN} - V_{OUT} \leq 40\text{V}$, (Note 3) $10\text{ mA} \leq I_{OUT} \leq I_{MAX}$, $P \leq P_{MAX}$	-1.225 -1.200	-1.250 -1.250	-1.275 -1.300	-1.213 -1.200	-1.250 -1.250	-1.287 -1.300	V V
Line Regulation	$3\text{V} \leq V_{IN} - V_{OUT} \leq 40\text{V}$, (Note 2)		0.02	0.05		0.02	0.07	%/V
Load Regulation	$10\text{ mA} \leq I_{OUT} \leq I_{MAX}$, (Note 2)		0.3	1		0.3	1.5	%
Temperature Stability	$T_{MIN} \leq T_J \leq T_{MAX}$		0.6			0.6		%
Minimum Load Current	$ V_{IN} - V_{OUT} \leq 40\text{V}$ $ V_{IN} - V_{OUT} \leq 10\text{V}$		2.5 1.2	5 3		2.5 1.5	10 6	mA mA
Current Limit	$ V_{IN} - V_{OUT} \leq 15\text{V}$ K, MP and T Package H Package $ V_{IN} - V_{OUT} = 40\text{V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$ K, MP and T Package H Package	1.5 0.5	2.2 0.8	3.5 1.8	1.5 0.5	2.2 0.8	3.7 1.9	A A
RMS Output Noise, % of V_{OUT}	$T_J = 25^\circ\text{C}$, 10 Hz $\leq f \leq 10\text{ kHz}$		0.003			0.003		%
Ripple Rejection Ratio	$V_{OUT} = -10\text{V}$, $f = 120\text{ Hz}$ $C_{ADJ} = 10\text{ }\mu\text{F}$	66	60 77		66	60 77		dB dB
Long-Term Stability	$T_J = 125^\circ\text{C}$, 1000 Hours		0.3	1		0.3	1	%
Thermal Resistance, Junction to Case	H Package K Package T Package		12 2.3	15 3		12 2.3	15 3	$^\circ\text{C/W}$ $^\circ\text{C/W}$ $^\circ\text{C/W}$
Thermal Resistance, Junction to Ambient (No Heat Sink)	H Package K Package T Package MP Package		140 35			140 35 50		$^\circ\text{C/W}$ $^\circ\text{C/W}$ $^\circ\text{C/W}$ $^\circ\text{C/W}$

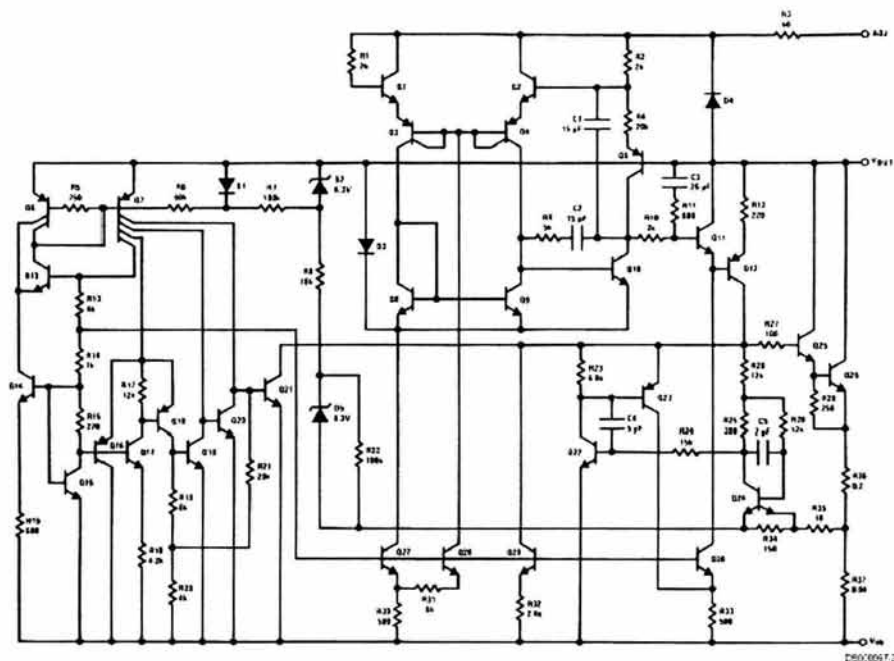
Note 1: Unless otherwise specified, these specifications apply $-55^\circ\text{C} \leq T_J \leq +150^\circ\text{C}$ for the LM137, $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$ for the LM337; $V_{IN} - V_{OUT} = 5\text{V}$, and $I_{OUT} = 0.1\text{ A}$ for the TO-39 package and $I_{OUT} = 0.5\text{ A}$ for the TO-3, SOT-223 and TO-220 packages. Although power dissipation is internally limited, these specifications are applicable for power dissipations of 2W for the TO-39 and SOT-223 (see Application Hints), and 20W for the TO-3, and TO-220. I_{MAX} is 1.5A for the TO-3, SOT-223 and TO-220 packages, and 0.2A for the TO-39 package.

Note 2: Regulation is measured at constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output voltage due to heating effects are covered under the specification for thermal regulation. Load regulation is measured on the output pin at a point $1/8$ " below the base of the TO-3 and TO-39 packages.

Note 3: Selected devices with tightened tolerance reference voltage available.

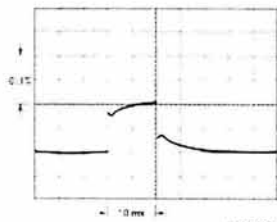
Note 4: Refer to REITS137H drawing for LM137H or REITS137K drawing for LM137K military specifications.

Schematic Diagram



Thermal Regulation

When power is dissipated in an IC, a temperature gradient occurs across the IC chip affecting the individual IC circuit components. With an IC regulator, this gradient can be especially severe since power dissipation is large. Thermal regulation is the effect of these temperature gradients on output voltage (in percentage output change) per Watt of power change in a specified time. Thermal regulation error is independent of electrical regulation or temperature coefficient, and occurs within 5 ms to 50 ms after a change in power dissipation. Thermal regulation depends on IC layout as well as electrical design. The thermal regulation of a voltage regulator is defined as the percentage change of V_{OUT} , per Watt, within the first 10 ms after a step of power is applied. The LM137's specification is 0.02%/W, max.

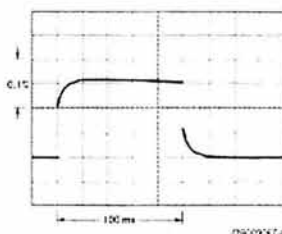


LM137, $V_{OUT} = -10V$
 $V_{IN} - V_{OUT} = -10V$
 $I_L = 0A \rightarrow 0.25A \rightarrow 0A$
 Vertical sensitivity, 5 mV/div

FIGURE 1.

In Figure 1, a typical LM137's output drifts only 3 mV (or 0.03% of $V_{OUT} = -10V$) when a 10W pulse is applied for 10 ms. This performance is thus well inside the specification limit of $0.02\%/W \times 10W = 0.2\%$ max. When the 10W pulse is ended, the thermal regulation again shows a 3 mV step at the LM137 chip cools off. Note that the load regulation error of about 8 mV (0.08%) is additional to the thermal regulation error. In Figure 2, when the 10W pulse is applied for 100 ms, the output drifts only slightly beyond the drift in the first 10 ms, and the thermal error stays well within 0.1% (10 mV).

Thermal Regulation (Continued)

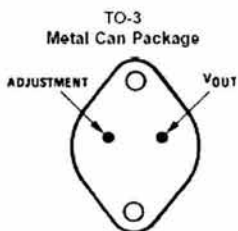


LM137, $V_{OUT} = -10V$
 $V_{IN} - V_{OUT} = -40V$
 $I_L = 0A \rightarrow 0.25A \rightarrow 0A$
 Horizontal sensitivity, 20 mV/div

DS000047.4

FIGURE 2.

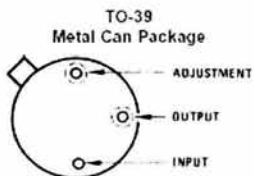
Connection Diagrams



DS000057.5

Case Is Input

Bottom View
 Order Number LM137K/883
 LM137KPQML and LM137KPQMLV(Notes 5)
 See NS Package Number K02C
 Order Number LM337K STEEL
 See NS Package Number K02A

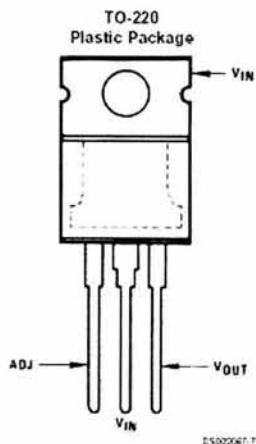


DS000067.6

Case Is Input

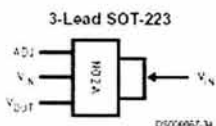
Note 5: See STD Mill DWG 5962P/96617 for Radiation Tolerant Devices

Bottom View
 Order Number LM137H, LM137H/883 or LM337H
 LM137HPQML and LM137HPQMLV(Notes 5)
 See NS Package Number H03A



DS000047.7

Front View
 Order Number LM337T
 See NS Package Number T03B



DS000067.3A

Front View
 Order Number LM337IMP

Package Marked N02A See NS Package Number MA04A

Application Hints

When a value for $\theta_{(J-A)}$ is found using the equation shown, a heatsink must be selected that has a value that is less than or equal to this number.

HEATSINKING SOT-223 PACKAGE PARTS

The SOT-223 ("MP") packages use a copper plane on the PCB and the PCB itself as a heatsink. To optimize the heat sinking ability of the plane and PCB, solder the tab of the package to the plane.

Figures 3, 4 show the information for the SOT-223 package. Figure 4 assumes a $\theta_{(J-A)}$ of 75°C/W for 1 ounce copper and 51°C/W for 2 ounce copper and a maximum junction temperature of 125°C.

Application Hints (Continued)

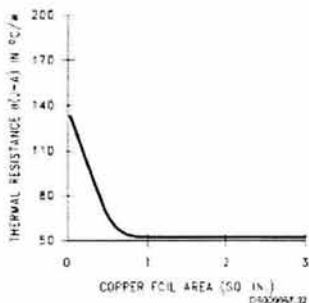


FIGURE 3. θ_{j-a} vs Copper (2 ounce) Area for the SOT-223 Package

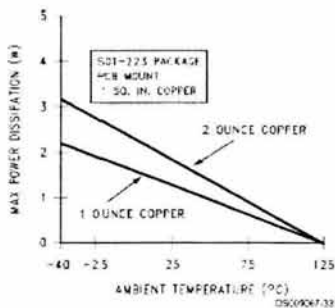
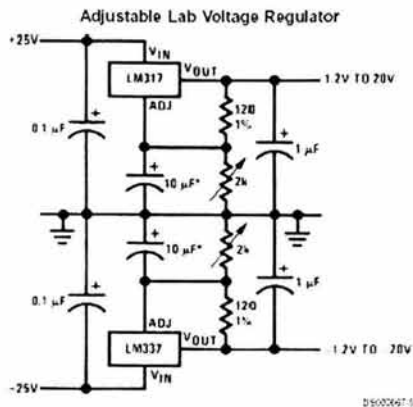


FIGURE 4. Maximum Power Dissipation vs T_{AMB} for the SOT-223 Package

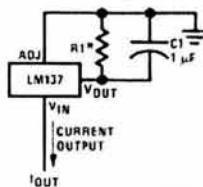
Please see AN1028 for power enhancement techniques to be used with the SOT-223 package.

Typical Applications



Full output current not available at high input-output voltages.
*The 10 μF capacitors are optional to improve ripple rejection.

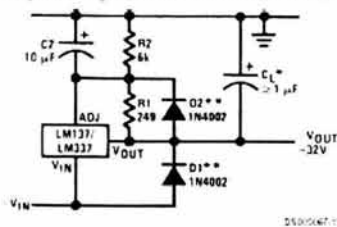
Current Regulator



$$I_{OUT} = \frac{1.250V}{R1}$$

*0.811 $\leq R1 \leq 120\Omega$

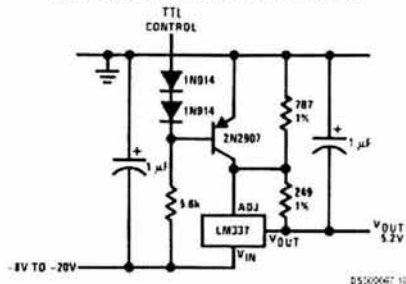
Negative Regulator with Protection Diodes



**When C₁ is larger than 20 μF , D1 protects the LM137 in case the input supply is shorted.
**When C₂ is larger than 10 μF and $-V_{OUT}$ is larger than -25V, D2 protects the LM137 in case the output is shorted.

Typical Applications (Continued)

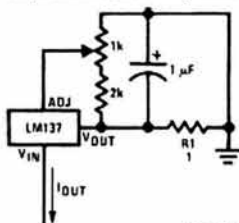
-5.2V Regulator with Electronic Shutdown*



DS00067-10

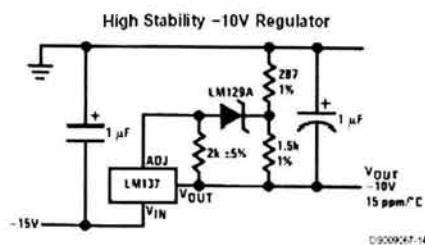
*Minimum output = -1.3V when control input is low

Adjustable Current Regulator



DS00067-10

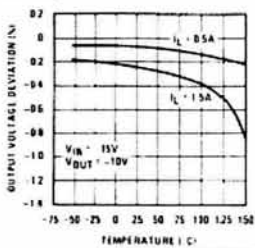
$$I_{OUT} = \left(\frac{1.5V}{R1} \right) \pm 15\% \text{ adjustable}$$



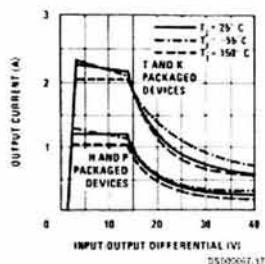
DS00067-14

Typical Performance Characteristics (K Steel and T Packages)

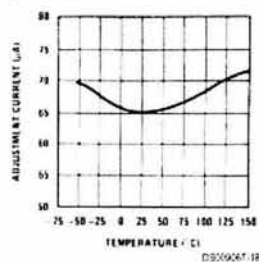
Load Regulation



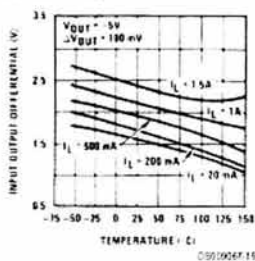
Current Limit



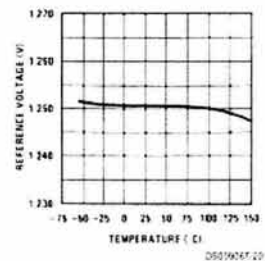
Adjustment Current



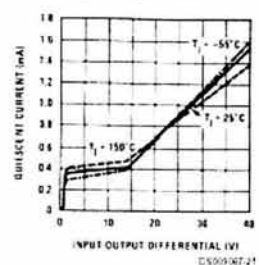
Dropout Voltage



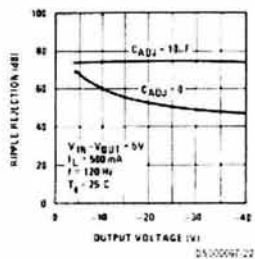
Temperature Stability



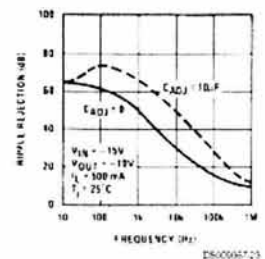
Minimum Operating Current



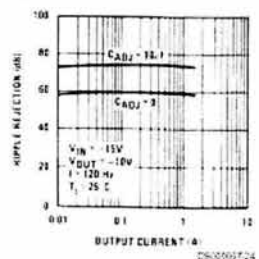
Ripple Rejection



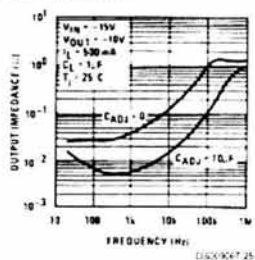
Ripple Rejection



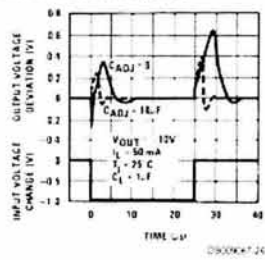
Ripple Rejection



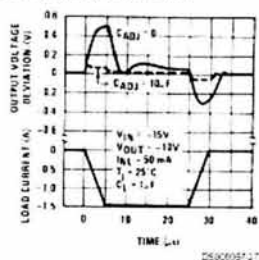
Output Impedance



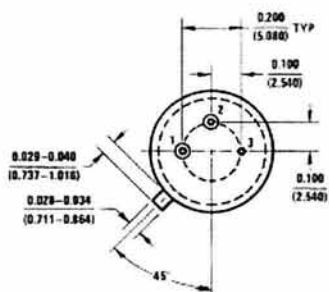
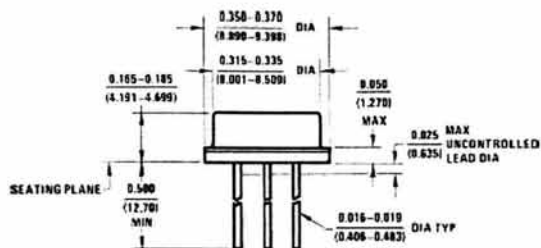
Line Transient Response



Load Transient Response



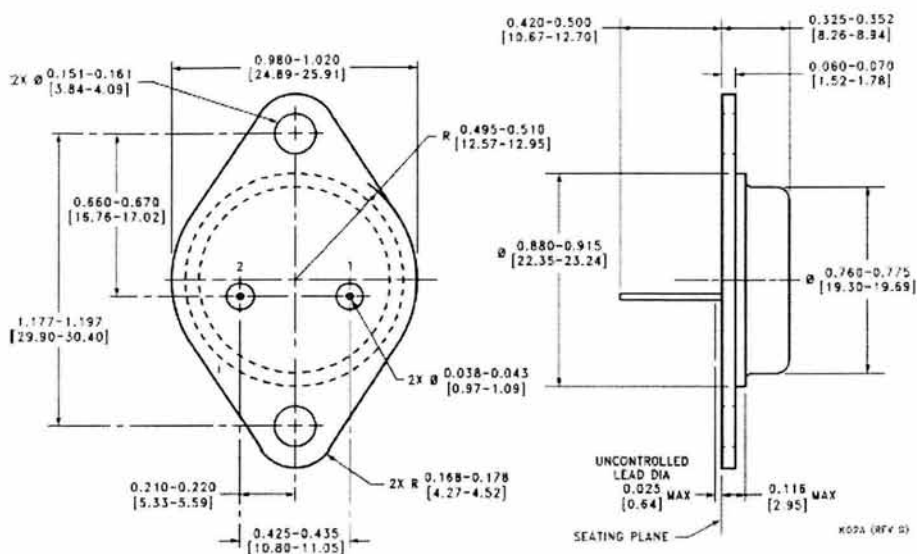
Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



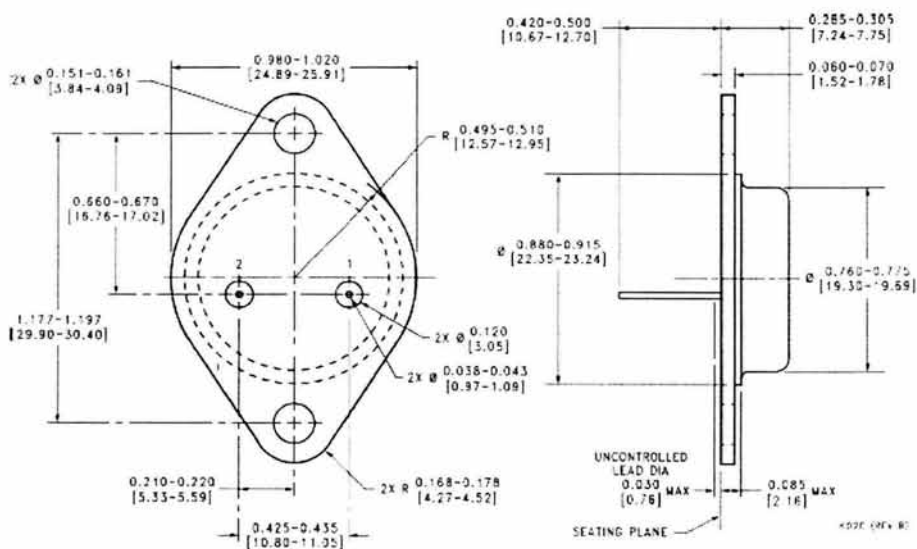
MSA REV B

Metal Can Package (H)
Order Number LM137H, LM137H/883 or LM337H
NS Package Number H03A

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)

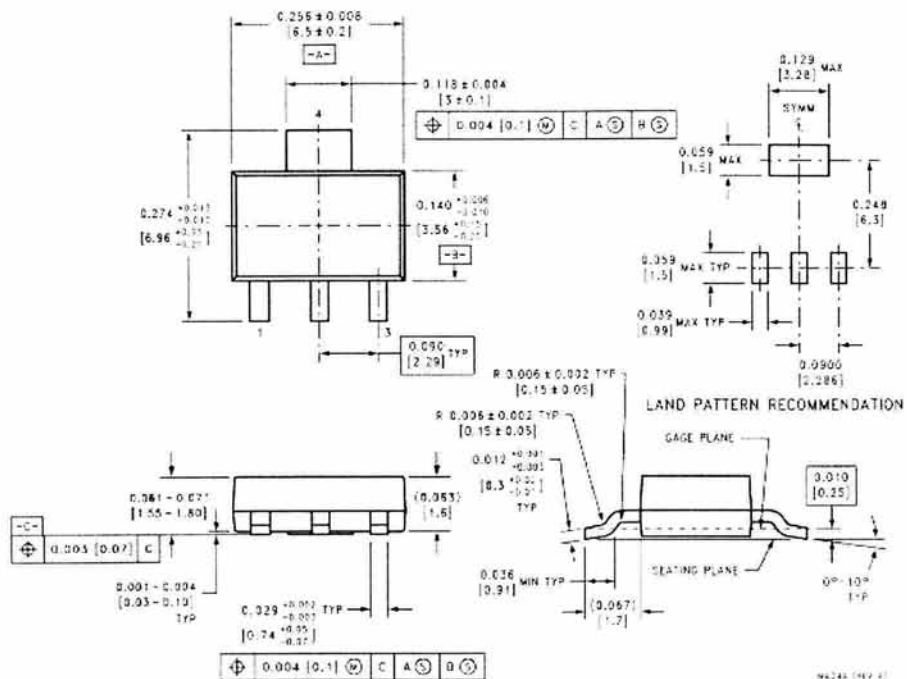


Metal Can Package (K)
Order Number LM337K STEEL
NS Package Number K02A



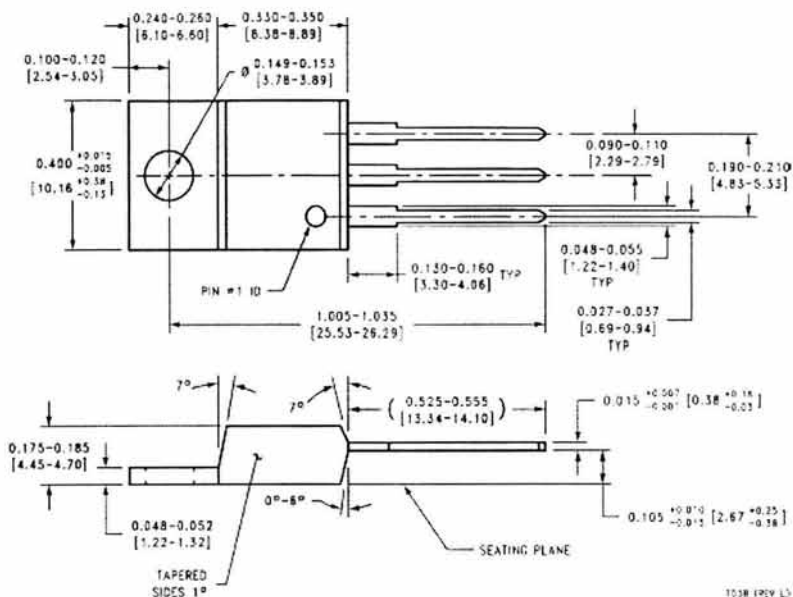
Mil-Aero Metal Can Package (K)
Order Number LM137K/883
NS Package Number K02C

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



3-Lead SOT-223 Package
 Order Number LM337IMP
 NS Package Number M04A

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



TO-220 Plastic Package (T)
Order Number LM337T
NS Package Number T03B

LM137/LM337 3-Terminal Adjustable Negative Regulators

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.



National Semiconductor
Corporation
Americas
Tel: 1.800.272.9999
Fax: 1.800.737.7013
Email: support@nsc.com

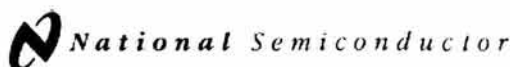
National Semiconductor
Europe
Fax: +49 (0) 1 80 530 85 08
Email: europe.support@nsc.com
Deutsch Tel: +49 (0) 1 80 530 85 85
English Tel: +49 (0) 1 80 532 75 32
Français Tel: +49 (0) 1 80 532 93 56
Italiano Tel: +49 (0) 1 80 534 16 80

National Semiconductor
Asia Pacific Customer
Response Group
Tel: 65-2544466
Fax: 65-2544466
Email: asa.support@nsc.com

National Semiconductor
Japan Ltd.
Tel: 81-3-5639-7500
Fax: 81-3-5639-7507

www.national.com

National does not assume any responsibility for use of any product described here. Circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change product quality and specifications.



July 1999

LM341/LM78MXX Series 3-Terminal Positive Voltage Regulators

General Description

The LM341 and LM78MXX series of three-terminal positive voltage regulators employ built-in current limiting, thermal shutdown, and safe-operating area protection which makes them virtually immune to damage from output overloads.

With adequate heatsinking, they can deliver in excess of 0.5A output current. Typical applications would include local (on-card) regulators which can eliminate the noise and degraded performance associated with single-point regulation.

Features

- Output current in excess of 0.5A
- No external components
- Internal thermal overload protection
- Internal short circuit current-limiting
- Output transistor safe-area compensation
- Available in TO-220, TO-39, and TO-252 D-PAK packages
- Output voltages of 5V, 12V, and 15V

Connection Diagrams

TO-39 Metal Can Package (H)

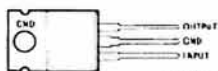


DS010484-5

Bottom View

Order Number LM78M05CH, LM78M12CH or LM78M15CH
See NS Package Number H03A

TO-220 Power Package (T)

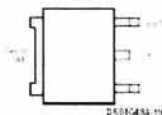


DS010484-6

Top View

Order Number LM341T-5.0, LM341T-12, LM341T-15, LM78M05CT, LM78M12CT or LM78M15CT
See NS Package Number T03B

TO-252



DS010484-19

Top View

Order Number LM78M05CDT
See NS Package Number TD03B

LM341/LM78MXX Series 3-Terminal Positive Voltage Regulators

Absolute Maximum Ratings (Note 1)

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

Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	
TO-39 Package (H)	300°C
TO-220 Package (T)	260°C

Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Operating Junction Temperature Range	-40°C to +125°C
Power Dissipation (Note 2)	Internally Limited
Input Voltage	
5V ≤ V _O ≤ 15V	35V
ESD Susceptibility	TBD

Electrical Characteristics

Limits in standard typeface are for T_J = 25°C, and limits in boldface type apply over the -40°C to +125°C operating temperature range. Limits are guaranteed by production testing or correlation techniques using standard Statistical Quality Control (SQC) methods.

LM341-5.0, LM78M05C

Unless otherwise specified: V_{IN} = 10V, C_{IN} = 0.33 μF, C_O = 0.1 μF

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
V _O	Output Voltage	I _L = 500 mA	4.8	5.0	5.2	V
		5 mA ≤ I _L ≤ 500 mA	4.75	5.0	5.25	
		P _D ≤ 7.5W, 7.5V ≤ V _{IN} ≤ 20V				
V _{R LINE}	Line Regulation	7.2V ≤ V _{IN} ≤ 25V			50	mV
		I _L = 100 mA			100	
V _{R LOAD}	Load Regulation	I _L = 500 mA			100	
		5 mA ≤ I _L ≤ 500 mA			100	
I _Q	Quiescent Current	I _L = 500 mA		4	10.0	mA
ΔI _Q	Quiescent Current Change	5 mA ≤ I _L ≤ 500 mA			0.5	
		7.5V ≤ V _{IN} ≤ 25V, I _L = 500 mA			1.0	
V _n	Output Noise Voltage	f = 10 Hz to 100 kHz		40		μV
$\frac{\Delta V_{IN}}{\Delta V_O}$	Ripple Rejection	f = 120 Hz, I _L = 500 mA		78		dB
V _{IN}	Input Voltage Required to Maintain Line Regulation	I _L = 500 mA	7.2			V
ΔV _O	Long Term Stability	I _L = 500 mA			20	mV/khrs

Electrical Characteristics

Limits in standard typeface are for $T_J = 25^\circ\text{C}$, and limits in boldface type apply over the -40°C to $+125^\circ\text{C}$ operating temperature range. Limits are guaranteed by production testing or correlation techniques using standard Statistical Quality Control (SQC) methods. (Continued)

LM341-12, LM78M12C

Unless otherwise specified: $V_{IN} = 19\text{V}$, $C_{IN} = 0.33\ \mu\text{F}$, $C_O = 0.1\ \mu\text{F}$

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
V_O	Output Voltage	$I_L = 500\ \text{mA}$	11.5	12	12.5	V
		$5\ \text{mA} \leq I_L \leq 500\ \text{mA}$	11.4	12	12.6	
		$P_D \leq 7.5\text{W}$, $14.8\text{V} \leq V_{IN} \leq 27\text{V}$				
$V_{R\ \text{LINE}}$	Line Regulation	$14.5\text{V} \leq V_{IN} \leq 30\text{V}$			120	mV
		$I_L = 100\ \text{mA}$ $I_L = 500\ \text{mA}$			240	
$V_{R\ \text{LOAD}}$	Load Regulation	$5\ \text{mA} \leq I_L \leq 500\ \text{mA}$			240	
I_Q	Quiescent Current	$I_L = 500\ \text{mA}$		4	10.0	mA
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$5\ \text{mA} \leq I_L \leq 500\ \text{mA}$			0.5	
		$14.8\text{V} \leq V_{IN} \leq 30\text{V}$, $I_L = 500\ \text{mA}$			1.0	
V_n	Output Noise Voltage	$f = 10\ \text{Hz}$ to $100\ \text{kHz}$		75		μV
$\frac{\Delta V_{IN}}{\Delta V_O}$	Ripple Rejection	$f = 120\ \text{Hz}$, $I_L = 500\ \text{mA}$		71		dB
V_{IN}	Input Voltage Required to Maintain Line Regulation	$I_L = 500\ \text{mA}$	14.5			V
ΔV_O	Long Term Stability	$I_L = 500\ \text{mA}$			48	mV/khrs

LM341-15, LM78M15C

Unless otherwise specified: $V_{IN} = 23\text{V}$, $C_{IN} = 0.33\ \mu\text{F}$, $C_O = 0.1\ \mu\text{F}$

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
V_O	Output Voltage	$I_L = 500\ \text{mA}$	14.4	15	15.6	V
		$5\ \text{mA} \leq I_L \leq 500\ \text{mA}$	14.25	15	15.75	
		$P_D \leq 7.5\text{W}$, $18\text{V} \leq V_{IN} \leq 30\text{V}$				
$V_{R\ \text{LINE}}$	Line Regulation	$17.6\text{V} \leq V_{IN} \leq 30\text{V}$			150	mV
		$I_L = 100\ \text{mA}$ $I_L = 500\ \text{mA}$			300	
$V_{R\ \text{LOAD}}$	Load Regulation	$5\ \text{mA} \leq I_L \leq 500\ \text{mA}$			300	
I_Q	Quiescent Current	$I_L = 500\ \text{mA}$		4	10.0	mA
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$5\ \text{mA} \leq I_L \leq 500\ \text{mA}$			0.5	
		$18\text{V} \leq V_{IN} \leq 30\text{V}$, $I_L = 500\ \text{mA}$			1.0	
V_n	Output Noise Voltage	$f = 10\ \text{Hz}$ to $100\ \text{kHz}$		90		μV
$\frac{\Delta V_{IN}}{\Delta V_O}$	Ripple Rejection	$f = 120\ \text{Hz}$, $I_L = 500\ \text{mA}$		69		dB
V_{IN}	Input Voltage Required to Maintain Line Regulation	$I_L = 500\ \text{mA}$	17.6			V
ΔV_O	Long Term Stability	$I_L = 500\ \text{mA}$			60	mV/khrs

Note 1: Absolute maximum ratings indicate limits beyond which damage to the component may occur. Electrical specifications do not apply when operating the device outside of its rated operating conditions.

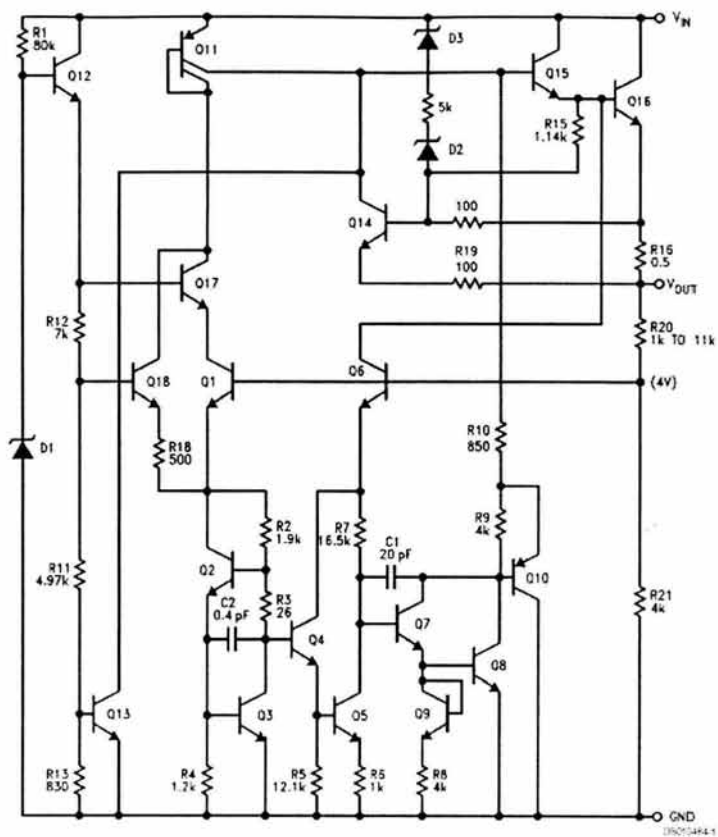
Note 2: The typical thermal resistance of the three package types is:

T_1 (TO-220) package: $\theta_{JA} = 60\ \text{C/W}$, $\theta_{JC} = 5\ \text{C/W}$

H (TO-39) package: $\theta_{JA} = 120\ \text{C/W}$, $\theta_{JC} = 18\ \text{C/W}$

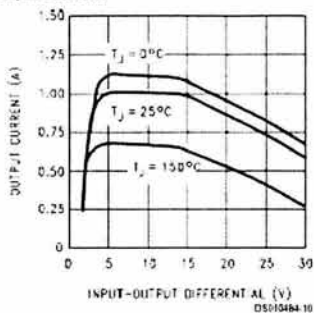
DT (TO-252) package: $\theta_{JA} = 92\ \text{C/W}$, $\theta_{JC} = 10\ \text{C/W}$

Schematic Diagram

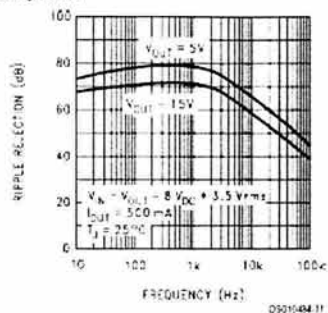


Typical Performance Characteristics

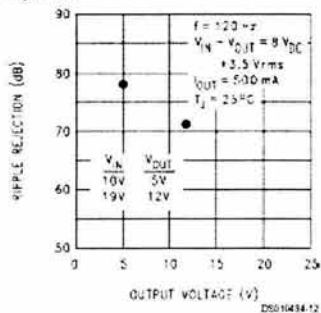
Peak Output Current



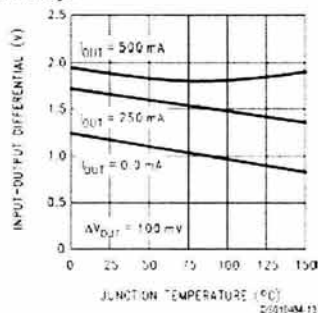
Ripple Rejection



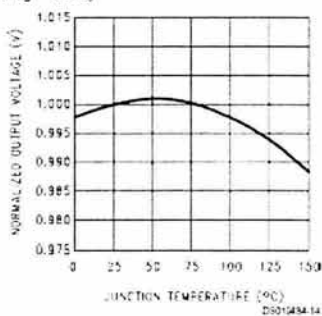
Ripple Rejection



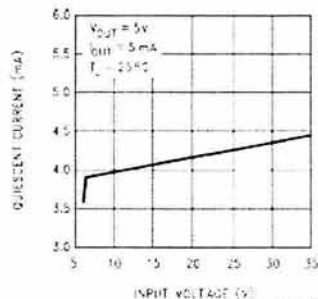
Dropout Voltage



Output Voltage (Normalized to 1V at Tj = 25°C)

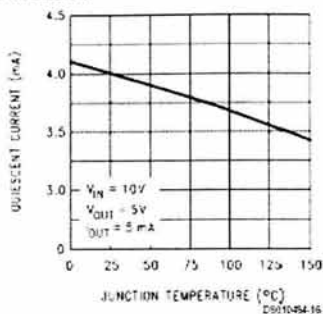


Quiescent Current

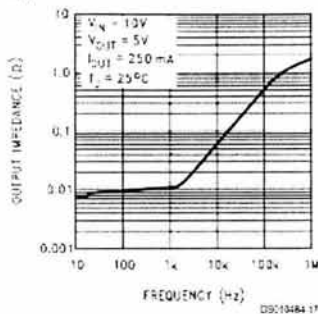


Typical Performance Characteristics (Continued)

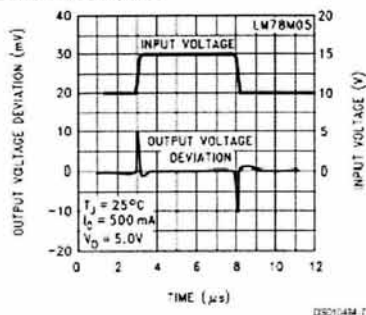
Quiescent Current



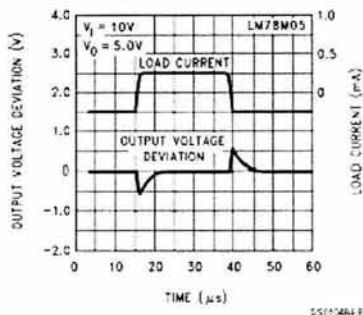
Output Impedance



Line Transient Response



Load Transient Response



Design Considerations

The LM78MXX/LM341XX fixed voltage regulator series has built-in thermal overload protection which prevents the device from being damaged due to excessive junction temperature.

The regulators also contain internal short-circuit protection which limits the maximum output current, and safe-area protection for the pass transistor which reduces the short-circuit current as the voltage across the pass transistor is increased.

Although the internal power dissipation is automatically limited, the maximum junction temperature of the device must be kept below $+125°C$ in order to meet data sheet specifications. An adequate heatsink should be provided to assure this limit is not exceeded under worst-case operating conditions (maximum input voltage and load current) if reliable performance is to be obtained.

1.0 Heatsink Considerations

When an integrated circuit operates with appreciable current, its junction temperature is elevated. It is important to quantify its thermal limits in order to achieve acceptable performance and reliability. This limit is determined by summing the individual parts consisting of a series of temperature rises from the semiconductor junction to the operating environment. A one-dimension steady-state model of conduction heat transfer is demonstrated in The heat generated at the

device junction flows through the die to the die attach pad, through the lead frame to the surrounding case material, to the printed circuit board, and eventually to the ambient environment. Below is a list of variables that may affect the thermal resistance and in turn the need for a heatsink.

R^{th}_{JC} (Component Variables)	R^{th}_{CA} (Application Variables)
Leadframe Size & Material	Mounting Pad Size, Material, & Location
No. of Conduction Pins	Placement of Mounting Pad
Die Size	PCB Size & Material
Die Attach Material	Traces Length & Width
Molding Compound Size and Material	Adjacent Heat Sources
	Volume of Air
	Air Flow
	Ambient Temperature
	Shape of Mounting Pad

Design Considerations (Continued)

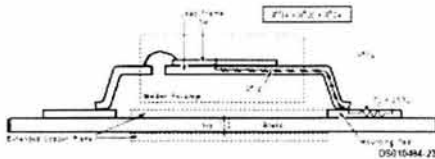


FIGURE 1. Cross-sectional view of Integrated Circuit Mounted on a printed circuit board. Note that the case temperature is measured at the point where the leads contact with the mounting pad surface

The LM78MXX/LM341XX regulators have internal thermal shutdown to protect the device from over-heating. Under all possible operating conditions, the junction temperature of the LM78MXX/LM341XX must be within the range of 0°C to 125°C. A heatsink may be required depending on the maximum power dissipation and maximum ambient temperature of the application. To determine if a heatsink is needed, the power dissipated by the regulator, P_D , must be calculated:

$$I_{IN} = I_L + I_G$$

$$P_D = (V_{IN} - V_{OUT}) I_L + V_{IN} I_G$$

shows the voltages and currents which are present in the circuit.

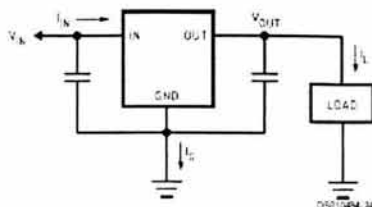


FIGURE 2. Power Dissipation Diagram

The next parameter which must be calculated is the maximum allowable temperature rise, $T_{R(max)}$:

$$\theta_{JA} = T_R(max)/P_D$$

If the maximum allowable value for θ_{JA} is found to be $\geq 60^\circ\text{C/W}$ for TO-220 package or $\geq 92^\circ\text{C/W}$ for TO-252 package, no heatsink is needed since the package alone will dissipate enough heat to satisfy these requirements. If the calculated value for θ_{JA} fall below these limits, a heatsink is required.

As a design aid, Table 1 shows the value of the θ_{JA} of TO-252 for different heatsink area. The copper patterns that we used to measure these θ_{JA} are shown at the end of the Application Note Section, reflects the same test results as what are in the Table 1

shows the maximum allowable power dissipation vs. ambient temperature for the TO-252 device, shows the maximum allowable power dissipation vs. copper area (in^2) for the TO-252 device. Please see AN1028 for power enhancement techniques to be used with TO-252 package.

TABLE 1. θ_{JA} Different Heatsink Area

Layout	Copper Area		Thermal Resistance (θ_{JA} , $^\circ\text{C/W}$) TO-252
	Top Side (in^2)*	Bottom Side (in^2)	
1	0.0123	0	103
2	0.066	0	87
3	0.3	0	60
4	0.53	0	54
5	0.76	0	52
6	1	0	47
7	0	0.2	84
8	0	0.4	70
9	0	0.6	63
10	0	0.8	57
11	0	1	57
12	0.066	0.066	89
13	0.175	0.175	72
14	0.284	0.284	61
15	0.392	0.392	55
16	0.5	0.5	53

* Tab of device attached to topside copper

Design Considerations (Continued)

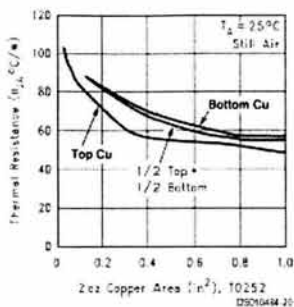
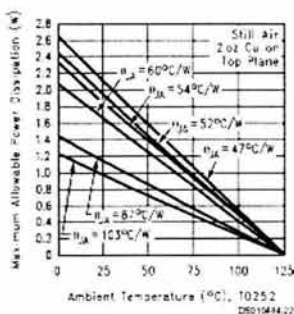
FIGURE 3. θ_{JA} vs. 2oz Copper Area for TO-252

FIGURE 4. Maximum Allowable Power Dissipation vs. Ambient Temperature for TO-252

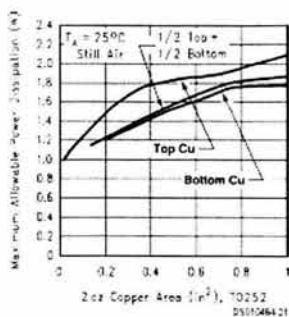
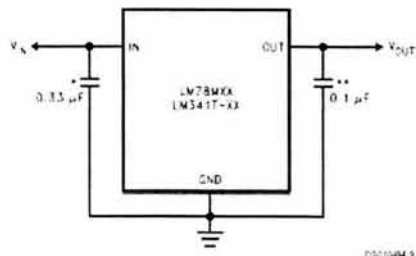


FIGURE 5. Maximum Allowable Power Dissipation vs. 2oz Copper Area for TO-252

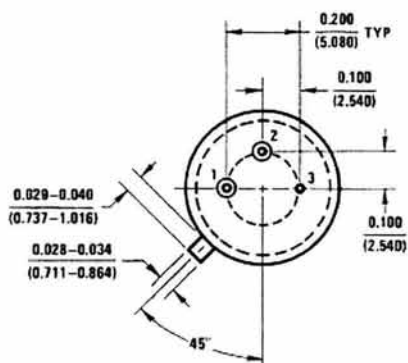
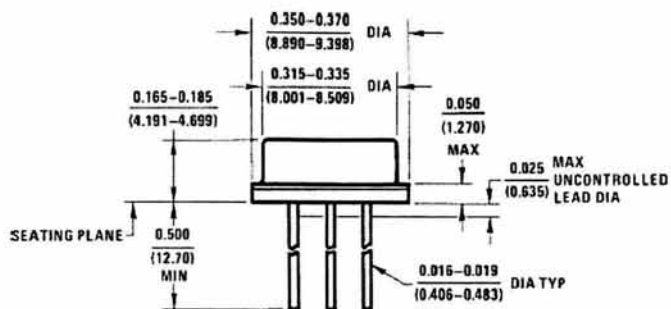
Typical Application



*Required if regulator input is more than 4 inches from input filter capacitor (or if no input filter capacitor is used).

**Optional for improved transient response.

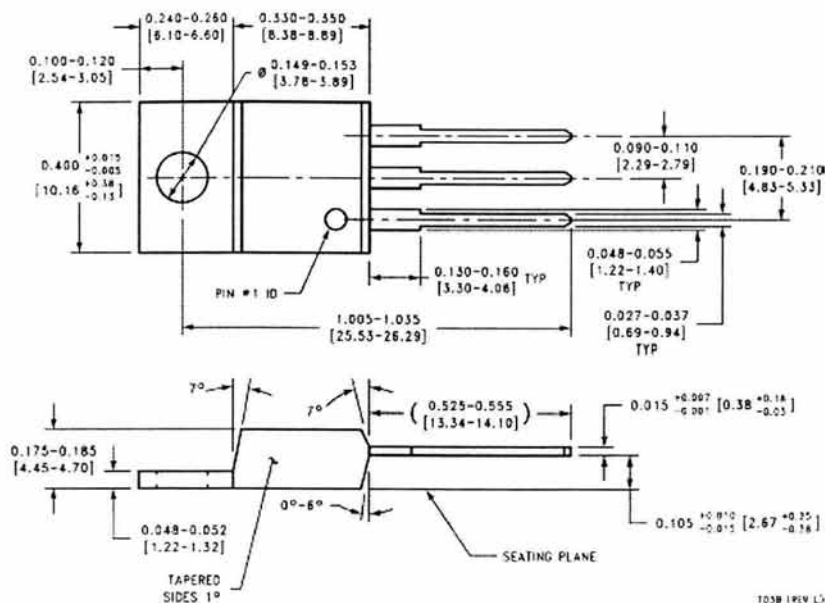
Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



H03A (REV B)

TO-39 Metal Can Package (H)
 Order Number LM78M05CH, LM78M12CH or LM78M15CH
 NS Package Number H03A

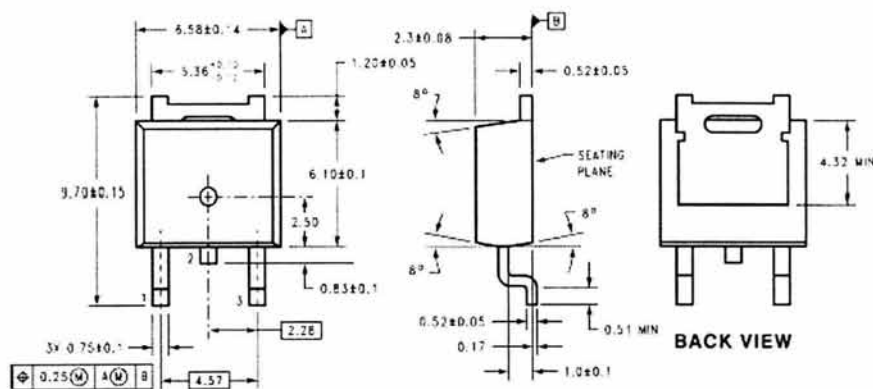
Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



TO-220 Power Package (T)

Order Number LM341T-5.0, LM341T-12, LM341T-15, LM78M05CT, LM78M12CT or LM78M15CT
NS Package Number T03B

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS

MODEL (25V A)

TO-252

Order Number LM78M05CDT

NS Package Number TD03B

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which: (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

N National Semiconductor Corporation
Americas
Tel: 1.800.272.9959
Tel: 1.800.737.7018
Email: support@nsc.com

National Semiconductor
Europe
Fax: +49 (0) 1 80 530 85 86
Email: europe.support@nsc.com
Deutsch Tel: +49 (0) 1 80 530 85 85
English Tel: +49 (0) 1 80 532 78 32
Français Tel: +49 (0) 1 80 532 93 58
Italiano Tel: +49 (0) 1 80 534 10 89

National Semiconductor
Asia Pacific Customer
Response Group
Tel: 65-2544466
Tel: 65-2504466
Email: sea.support@nsc.com

National Semiconductor
Japan Ltd.
Tel: 81-3-5639-7500
Tel: 81-3-5639-7507

www.national.com

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change circuitry and specifications.



September 2001

LM79XX Series 3-Terminal Negative Regulators

General Description

The LM79XX series of 3-terminal regulators is available with fixed output voltages of $-5V$, $-12V$, and $-15V$. These devices need only one external component—a compensation capacitor at the output. The LM79XX series is packaged in the TO-220 power package and is capable of supplying 1.5A of output current.

These regulators employ internal current limiting, safe area protection and thermal shutdown for protection against virtually all overload conditions.

Low ground pin current of the LM79XX series allows output voltage to be easily boosted above the preset value with a

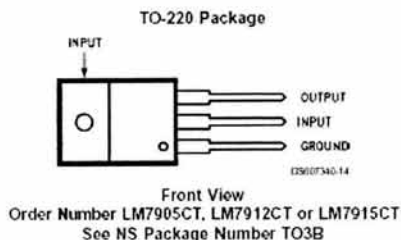
resistor divider. The low quiescent current drain of these devices with a specified maximum change with line and load ensures good regulation in the voltage boosted mode.

For applications requiring other voltages, see LM1137 datasheet.

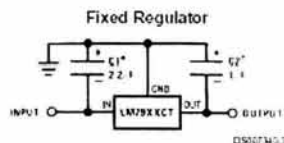
Features

- Thermal, short circuit and safe area protection
- High ripple rejection
- 1.5A output current
- 4% tolerance on preset output voltage

Connection Diagrams



Typical Applications



*Required if regulator is separated from filter capacitor by more than 3". For value given, capacitor must be solid tantalum. 25 μ F aluminum electrolytic may be substituted.

†Required for stability. For value given, capacitor must be solid tantalum. 25 μ F aluminum electrolytic may be substituted. Values given may be increased without limit.

For output capacitance in excess of 100 μ F, a high current diode from input to output (1N4001, etc.) will protect the regulator from momentary input shorts.

LM79XX Series

Absolute Maximum Ratings (Note 1)

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

Input Voltage

$(V_O = -5V)$

-25V

$(V_O = -12V \text{ and } -15V)$

-35V

Input-Output Differential

$(V_O = -5V)$

25V

$(V_O = -12V \text{ and } -15V)$

30V

Power Dissipation (Note 2)

Internally Limited

Operating Junction Temperature Range

0°C to +125°C

Storage Temperature Range

-65°C to +150°C

Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)

230°C

Electrical Characteristics

Conditions unless otherwise noted: $I_{OUT} = 500\text{mA}$, $C_{IN} = 2.2\mu\text{F}$, $C_{OUT} = 1\mu\text{F}$, $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$, Power Dissipation $\leq 1.5\text{W}$.

Part Number			LM7905C			Units
Output Voltage			-5V			
Input Voltage (unless otherwise specified)			-10V			
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	
V_O	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$ $5\text{mA} \leq I_{OUT} \leq 1\text{A}$, $P \leq 15\text{W}$	-4.8	-5.0	-5.2	V
			-4.75		-5.25	V
ΔV_O	Line Regulation	$T_J = 25^\circ\text{C}$, (Note 3)		8	50	mV
						V
				2	15	mV
						V
ΔV_O	Load Regulation	$T_J = 25^\circ\text{C}$, (Note 3) $5\text{mA} \leq I_{OUT} \leq 1.5\text{A}$ $250\text{mA} \leq I_{OUT} \leq 750\text{mA}$		15	100	mV
				5	50	mV
I_Q	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		1	2	mA
ΔI_Q	Quiescent Current Change	With Line With Load, $5\text{mA} \leq I_{OUT} \leq 1\text{A}$			0.5	mA
						V
					0.5	mA
V_n	Output Noise Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $10\text{Hz} \leq f \leq 100\text{Hz}$		125		μV
	Ripple Rejection	$f = 120\text{Hz}$	54	66		dB
						V
	Dropout Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_{OUT} = 1\text{A}$		1.1		V
$I_{O\text{MAX}}$	Peak Output Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		2.2		A
	Average Temperature Coefficient of Output Voltage	$I_{OUT} = 5\text{mA}$, $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq 100^\circ\text{C}$		0.4		mV/°C

Electrical Characteristics

Conditions unless otherwise noted: $I_{OUT} = 500\text{mA}$, $C_{IN} = 2.2\mu\text{F}$, $C_{OUT} = 1\mu\text{F}$, $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$, Power Dissipation $\leq 1.5\text{W}$.

Part Number			LM7912C			LM7915C			Units
Output Voltage			-12V			-15V			
Input Voltage (unless otherwise specified)			-19V			-23V			
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
V_O	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$ $5\text{mA} \leq I_{OUT} \leq 1\text{A}$, $P \leq 15\text{W}$	-11.5	-12.0	-12.5	-14.4	-15.0	-15.6	V
			-11.4		-12.6	-14.25		-15.75	V
ΔV_O	Line Regulation	$T_J = 25^\circ\text{C}$, (Note 3)		5	80		5	100	mV
									V
				3	30		3	50	mV
									V
ΔV_O	Load Regulation	$T_J = 25^\circ\text{C}$, (Note 3)							

Electrical Characteristics (Continued)Conditions unless otherwise noted: $I_{OUT} = 500\text{mA}$, $C_{IN} = 2.2\mu\text{F}$, $C_{OUT} = 1\mu\text{F}$, $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$, Power Dissipation $\leq 1.5\text{W}$.

Part Number		LM7912C			LM7915C			Units	
Output Voltage		-12V			-15V				
Input Voltage (unless otherwise specified)		-19V			-23V				
Symbol	Parameter	Conditions			Min	Typ	Max		
		$5\text{mA} \leq I_{OUT} \leq 1.5\text{A}$			15	200	15	200	mV
		$250\text{mA} \leq I_{OUT} \leq 750\text{mA}$			5	75	5	75	mV
I_Q	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			1.5	3	1.5	3	mA
ΔI_Q	Quiescent Current Change	With Line			0.5			0.5	mA
		With Load, $5\text{mA} \leq I_{OUT} \leq 1\text{A}$			(-30 $\leq V_{IN} \leq -14.5$)			(-30 $\leq V_{IN} \leq -17.5$)	V
					0.5			0.5	mA
V_n	Output Noise Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $10\text{Hz} \leq f \leq 100\text{Hz}$			300			375	μV
	Ripple Rejection	$f = 120\text{Hz}$			54	70	54	70	dB
					(-25 $\leq V_{IN} \leq -15$)			(-30 $\leq V_{IN} \leq -17.5$)	V
	Dropout Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_{OUT} = 1\text{A}$			1.1			1.1	V
$I_{O\text{MAX}}$	Peak Output Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			2.2			2.2	A
	Average Temperature Coefficient of Output Voltage	$I_{OUT} = 5\text{mA}$, $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq 100^\circ\text{C}$			-0.8			-1.0	mV/°C

Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is intended to be functional, but do not guarantee Specific Performance limits. For guaranteed specifications and test conditions, see the Electrical Characteristics.

Note 2: Refer to Typical Performance Characteristics and Design Considerations for details.

Note 3: Regulation is measured at a constant junction temperature by pulse testing with a low duty cycle. Changes in output voltage due to heating effects must be taken into account.

Design Considerations

The LM79XX fixed voltage regulator series has thermal overload protection from excessive power dissipation, internal short circuit protection which limits the circuit's maximum current, and output transistor safe-area compensation for reducing the output current as the voltage across the pass transistor is increased.

Although the internal power dissipation is limited, the junction temperature must be kept below the maximum specified temperature (125°C) in order to meet data sheet specifications. To calculate the maximum junction temperature or heat sink required, the following thermal resistance values should be used:

θ_{JA} = Junction-to-Ambient Thermal Resistance

θ_{JC} = Junction-to-Case Thermal Resistance

θ_{CA} = Case-to-Ambient Thermal Resistance

θ_{CS} = Case-to-Heat Sink Thermal Resistance

θ_{SA} = Heat Sink-to-Ambient Thermal Resistance

Package	Typ θ_{JC} C/W	Max θ_{JC} C/W	Typ θ_{JA} C/W	Max θ_{JA} C/W
TO-220	3.0	5.0	60	40

$$P_{D\text{MAX}} = \frac{T_J\text{MAX} - T_A}{\theta_{JC} + \theta_{CA}} \text{ OR } \frac{T_J\text{MAX} - T_A}{\theta_{JA}}$$

$$\theta_{CA} = \theta_{CS} + \theta_{SA} \text{ (with heat sink)}$$

Solving for T_J :

$$T_J = T_A + P_D (\theta_{JC} + \theta_{CA}) \text{ OR } \\ = T_A + P_D \theta_{JA} \text{ (without heat sink)}$$

Where:

T_J = Junction Temperature

T_A = Ambient Temperature

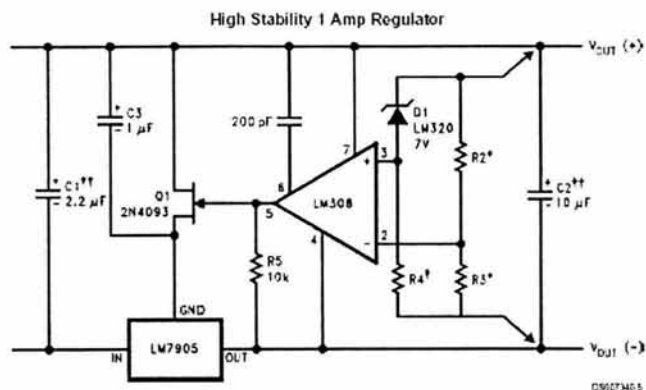
P_D = Power Dissipation

Typical Applications

Bypass capacitors are necessary for stable operation of the LM79XX series of regulators over the input voltage and output current ranges. Output bypass capacitors will improve the transient response by the regulator.

The bypass capacitors, (2.2 μ F on the input, 1.0 μ F on the output) should be ceramic or solid tantalum which have good

high frequency characteristics. If aluminum electrolytics are used, their values should be 10 μ F or larger. The bypass capacitors should be mounted with the shortest leads, and if possible, directly across the regulator terminals.

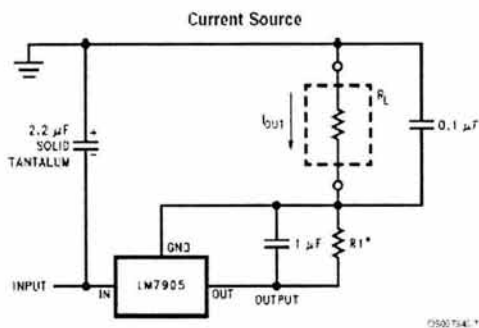


Load and line regulation < 0.01% temperature stability < 0.2%

[†] Determine Zener current

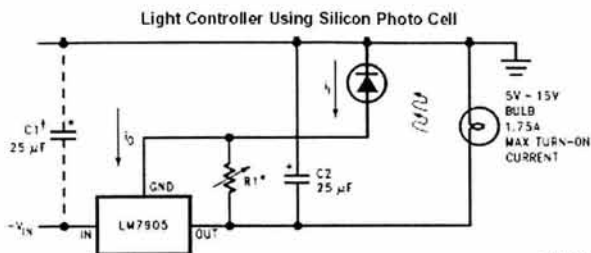
^{††} Solid tantalum

^{*} Select resistors to set output voltage. 2 ppm/°C tracking suggested



$$I_{out} = 1 \text{ mA} + \frac{5V}{R1}$$

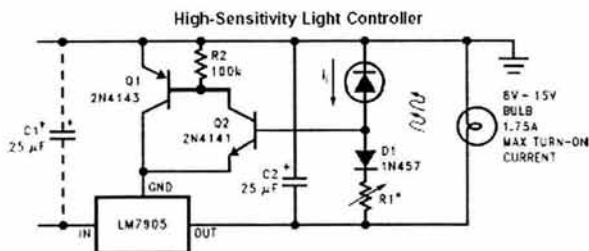
Typical Applications (Continued)



DS007340-8

*Lamp brightness increase until $I_0 = I_2 (-1 \text{ mA}) + 5V/R1$.

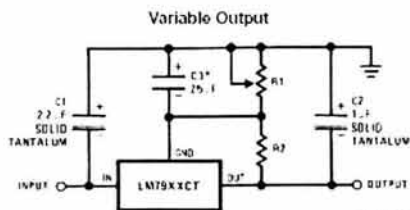
†Necessary only if raw supply filter capacitor is more than 2" from LM7905CT



DS007340-9

*Lamp brightness increases until $I_1 = 5V/R1$ (I_1 can be set as low as 1 µA)

†Necessary only if raw supply filter capacitor is more than 2" from LM7905



DS007340-2

*Improves transient response and ripple rejection. Do not increase beyond 50 µF.

$$V_{OUT} = V_{SET} \left(\frac{R1 + R2}{R2} \right)$$

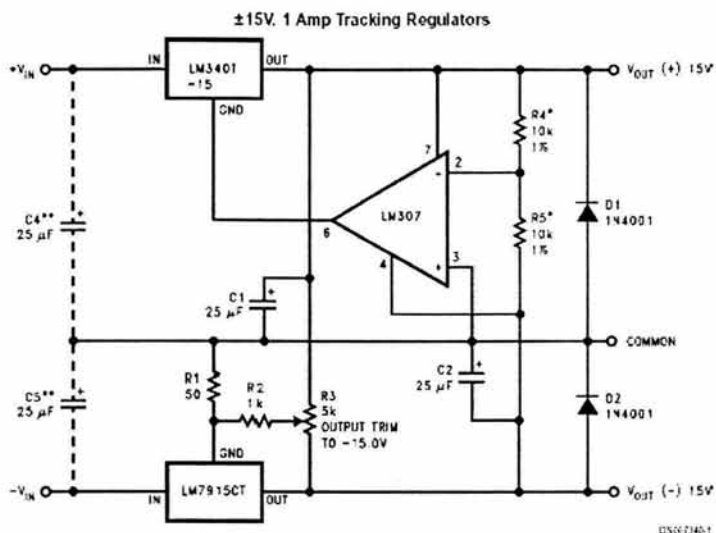
Select R2 as follows:

LM7905CT 300Ω

LM7912CT 750Ω

LM7915CT 1k

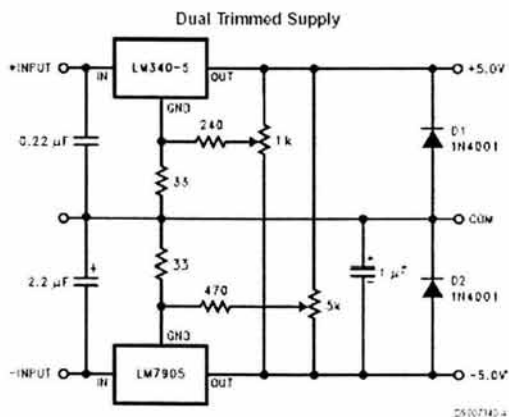
Typical Applications (Continued)



	(-15)	(+15)
Load Regulation at $\Delta I_L = 1A$	40mV	2mV
Output Ripple, $C_{IN} = 3000\mu F$, $I_L = 1A$	100 μV ms	100 μV ms
Temperature Stability	50mV	50mV
Output Noise $10Hz \leq f \leq 10kHz$	150 μV ms	150 μV ms

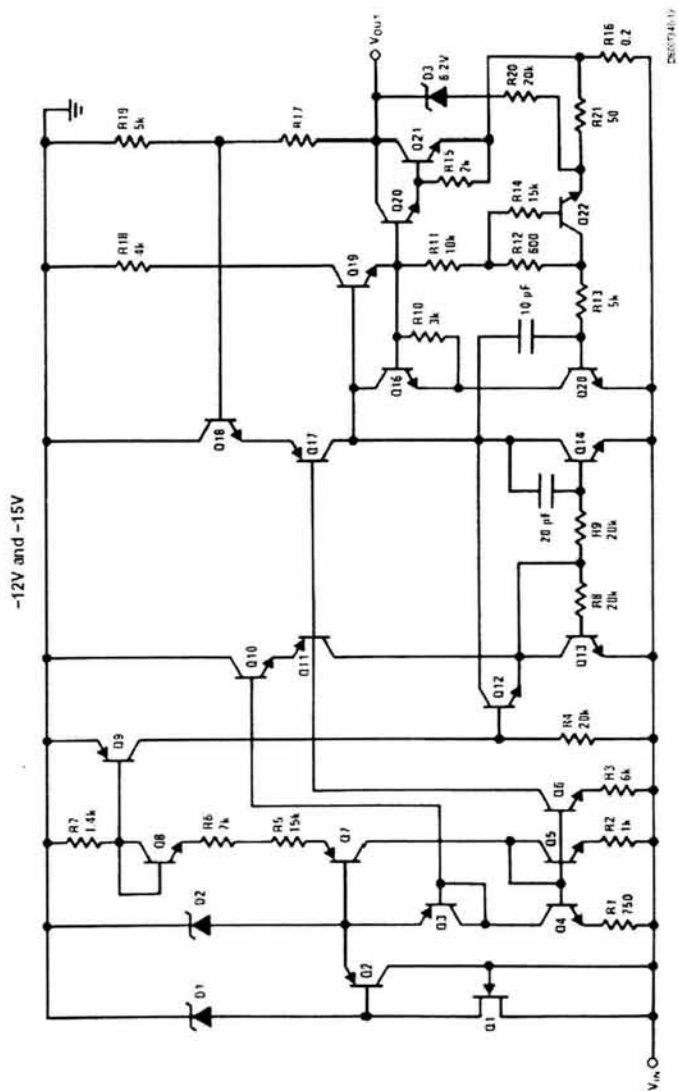
*Resistor tolerance of R4 and R5 determine matching of (+) and (-) outputs.

**Necessary only if raw supply filter capacitors are more than 3" from regulators.

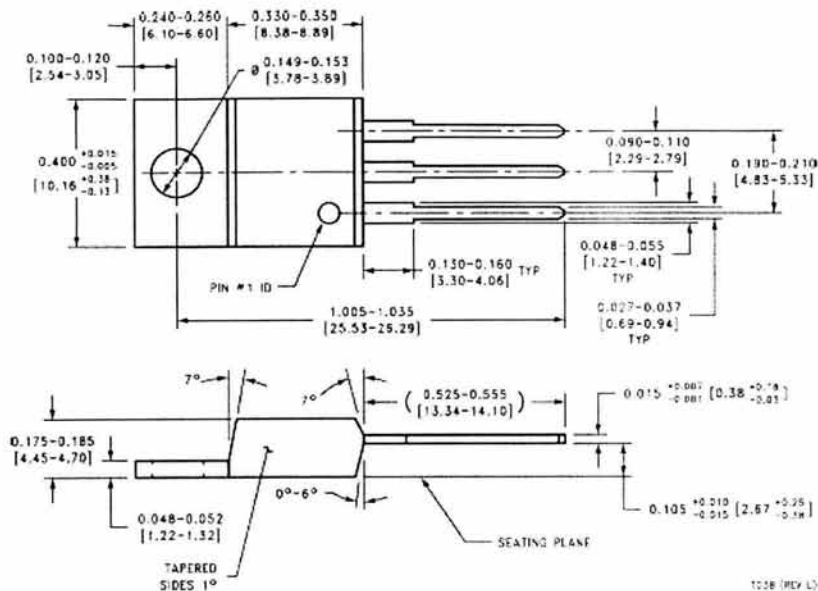


LM79XX Series

Schematic Diagrams (Continued)



Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



TO-220 Outline Package (T)
Order Number LM7905CT, LM7912CT or LM7915CT
NS Package Number T03B

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.



National Semiconductor
Corporation
Americas
Email: support@nsc.com

www.national.com

National Semiconductor
Europe
Fax: +49 (0) 180 530 55 66
Email: europe.support@nsc.com
Deutsch Tel: +49 (0) 99 9588 6206
English Tel: +44 (0) 570 24 0 2171
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8750

National Semiconductor
Asia Pacific Customer
Response Group
Tel: 65-2544466
Fax: 65-2504466
Email: ap.support@nsc.com

National Semiconductor
Japan Ltd.
Tel: 81 3 5639 7500
Fax: 81 3 5639 7507

DISCRETE SEMICONDUCTORS**DATA SHEET****2N2222; 2N2222A**
NPN switching transistors

Product specification
Supersedes data of September 1994
File under Discrete Semiconductors, SC04

1997 May 29

Philips Semiconductors

Product specification

NPN switching transistors

2N2222; 2N2222A

FEATURES

- High current (max. 800 mA)
- Low voltage (max. 40 V).

APPLICATIONS

- Linear amplification and switching.

DESCRIPTION

NPN switching transistor in a TO-18 metal package.
PNP complement: 2N2907A.

PINNING

PIN	DESCRIPTION
1	emitter
2	base
3	collector, connected to case

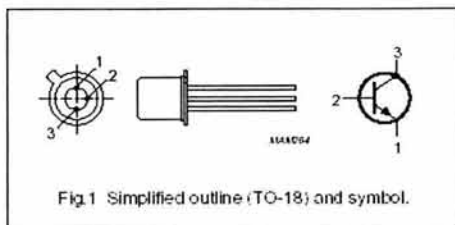


Fig. 1 Simplified outline (TO-18) and symbol.

QUICK REFERENCE DATA

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{CB0}	collector-base voltage	open emitter			
	2N2222		–	60	V
	2N2222A		–	75	V
V_{CE0}	collector-emitter voltage	open base			
	2N2222		–	30	V
	2N2222A		–	40	V
I_C	collector current (DC)		–	800	mA
P_{tot}	total power dissipation	$T_{amb} \leq 25^\circ\text{C}$	–	500	mW
h_{FE}	DC current gain	$I_C = 10\text{ mA}; V_{CE} = 10\text{ V}$	75	–	
f_T	transition frequency	$I_C = 20\text{ mA}; V_{CE} = 20\text{ V}; f = 100\text{ MHz}$			
	2N2222		250	–	MHz
	2N2222A		300	–	MHz
t_{off}	turn-off time	$I_{Con} = 150\text{ mA}; I_{Bon} = 15\text{ mA}; I_{Boff} = -15\text{ mA}$	–	250	ns

Philips Semiconductors

Product specification

NPN switching transistors

2N2222; 2N2222A

LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V _{CB0}	collector-base voltage	open emitter	–	60	V
	2N2222 2N2222A		–	75	V
V _{CEO}	collector-emitter voltage	open base	–	30	V
	2N2222 2N2222A		–	40	V
V _{EBO}	emitter-base voltage	open collector	–	5	V
	2N2222 2N2222A		–	6	V
I _C	collector current (DC)		–	800	mA
I _{CM}	peak collector current		–	800	mA
I _{BM}	peak base current		–	200	mA
P _{tot}	total power dissipation	T _{amb} ≤ 25 °C	–	500	mW
		T _{case} ≤ 25 °C	–	1.2	W
T _{stg}	storage temperature		–65	+150	°C
T _j	junction temperature		–	200	°C
T _{amb}	operating ambient temperature		–65	+150	°C

THERMAL CHARACTERISTICS

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	VALUE	UNIT
R _{th ja}	thermal resistance from junction to ambient	In free air	350	K/W
R _{th jc}	thermal resistance from junction to case		146	K/W

Philips Semiconductors

Product specification

NPN switching transistors

2N2222; 2N2222A

CHARACTERISTICS

 $T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$ unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
I_{CBO}	collector cut-off current 2N2222	$I_E = 0; V_{CB} = 50\text{ V}$	–	10	nA
		$I_E = 0; V_{CB} = 50\text{ V}; T_{amb} = 150\text{ }^\circ\text{C}$	–	10	μA
I_{CBO}	collector cut-off current 2N2222A	$I_E = 0; V_{CB} = 60\text{ V}$	–	10	nA
		$I_E = 0; V_{CB} = 60\text{ V}; T_{amb} = 150\text{ }^\circ\text{C}$	–	10	μA
I_{EBO}	emitter cut-off current	$I_C = 0; V_{EB} = 3\text{ V}$	–	10	nA
h_{FE}	DC current gain	$I_C = 0.1\text{ mA}; V_{CE} = 10\text{ V}$	35	–	
		$I_C = 1\text{ mA}; V_{CE} = 10\text{ V}$	50	–	
		$I_C = 10\text{ mA}; V_{CE} = 10\text{ V}$	75	–	
		$I_C = 150\text{ mA}; V_{CE} = 1\text{ V}; \text{note 1}$	50	–	
		$I_C = 150\text{ mA}; V_{CE} = 10\text{ V}; \text{note 1}$	100	300	
h_{FE}	DC current gain 2N2222A	$I_C = 10\text{ mA}; V_{CE} = 10\text{ V}; T_{amb} = -55\text{ }^\circ\text{C}$	35	–	
h_{FE}	DC current gain 2N2222 2N2222A	$I_C = 500\text{ mA}; V_{CE} = 10\text{ V}; \text{note 1}$	30	–	
			40	–	
V_{CEsat}	collector-emitter saturation voltage 2N2222	$I_C = 150\text{ mA}; I_B = 15\text{ mA}; \text{note 1}$	–	400	mV
		$I_C = 500\text{ mA}; I_B = 50\text{ mA}; \text{note 1}$	–	1.6	V
V_{CEsat}	collector-emitter saturation voltage 2N2222A	$I_C = 150\text{ mA}; I_B = 15\text{ mA}; \text{note 1}$	–	300	mV
		$I_C = 500\text{ mA}; I_B = 50\text{ mA}; \text{note 1}$	–	1	V
V_{BEsat}	base-emitter saturation voltage 2N2222	$I_C = 150\text{ mA}; I_B = 15\text{ mA}; \text{note 1}$	–	1.3	V
		$I_C = 500\text{ mA}; I_B = 50\text{ mA}; \text{note 1}$	–	2.6	V
V_{BEsat}	base-emitter saturation voltage 2N2222A	$I_C = 150\text{ mA}; I_B = 15\text{ mA}; \text{note 1}$	0.6	1.2	V
		$I_C = 500\text{ mA}; I_B = 50\text{ mA}; \text{note 1}$	–	2	V
C_c	collector capacitance	$I_E = I_B = 0; V_{CB} = 10\text{ V}; f = 1\text{ MHz}$	–	8	pF
C_e	emitter capacitance 2N2222A	$I_C = I_C = 0; V_{EB} = 500\text{ mV}; f = 1\text{ MHz}$	–	25	pF
f_T	transition frequency 2N2222 2N2222A	$I_C = 20\text{ mA}; V_{CE} = 20\text{ V}; f = 100\text{ MHz}$	250	–	MHz
			300	–	MHz
F	noise figure 2N2222A	$I_C = 200\text{ }\mu\text{A}; V_{CE} = 5\text{ V}; R_S = 2\text{ k}\Omega;$ $f = 1\text{ kHz}; B = 200\text{ Hz}$	–	4	dB

Philips Semiconductors

Product specification

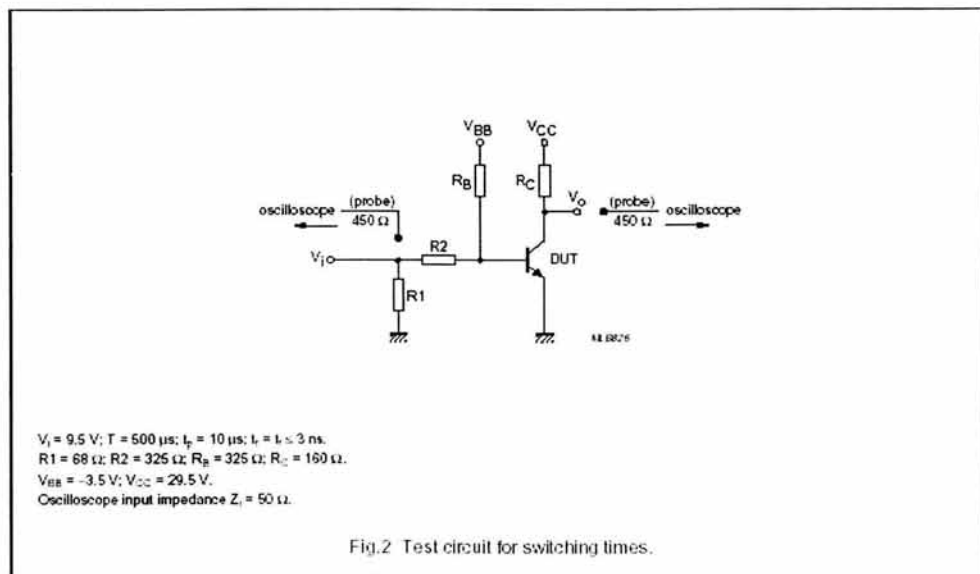
NPN switching transistors

2N2222; 2N2222A

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
Switching times (between 10% and 90% levels): see Fig.2					
t_{on}	turn-on time	$I_{Con} = 150 \text{ mA}$; $I_{Bon} = 15 \text{ mA}$; $I_{Boff} = -15 \text{ mA}$	–	35	ns
t_d	delay time		–	10	ns
t_r	rise time		–	25	ns
t_{off}	turn-off time		–	250	ns
t_s	storage time		–	200	ns
t_f	fall time		–	60	ns

Note

1. Pulse test: $t_p \leq 300 \mu\text{s}$; $\delta \leq 0.02$.



Philips Semiconductors

Product specification

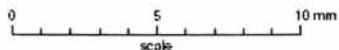
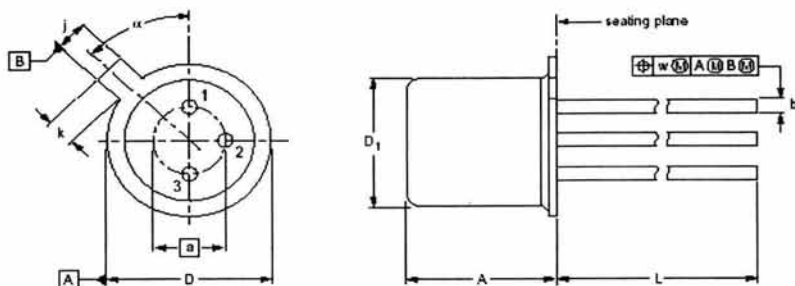
NPN switching transistors

2N2222; 2N2222A

PACKAGE OUTLINE

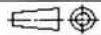
Metal-can cylindrical single-ended package; 3 leads

SOT18/13



DIMENSIONS (millimetre dimensions are derived from the original inch dimensions)

UNIT	A	a	b	D	D ₁	j	k	L	w	α
mm	5.31 4.74	2.64	0.47 0.41	5.45 5.30	4.70 4.55	1.03 0.94	1.1 0.9	15.0 12.7	0.40	45

OUTLINE VERSION	REFERENCES				EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	EIAJ			
SOT18/13	B11.C7 type 3	TO-18				97-04-18

1997 May 29

6

Philips Semiconductors

Product specification

NPN switching transistors

2N2222; 2N2222A

DEFINITIONS

Data sheet status	
Objective specification	This data sheet contains target or goal specifications for product development.
Preliminary specification	This data sheet contains preliminary data; supplementary data may be published later.
Product specification	This data sheet contains final product specifications.
Limiting values	
Limiting values given are in accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134). Stress above one or more of the limiting values may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and operation of the device at these or at any other conditions above those given in the Characteristics sections of the specification is not implied. Exposure to limiting values for extended periods may affect device reliability.	
Application information	
Where application information is given, it is advisory and does not form part of the specification.	

LIFE SUPPORT APPLICATIONS

These products are not designed for use in life support appliances, devices, or systems where malfunction of these products can reasonably be expected to result in personal injury. Philips customers using or selling these products for use in such applications do so at their own risk and agree to fully indemnify Philips for any damages resulting from such improper use or sale.

Philips Semiconductors – a worldwide company

Argentina: see South America

Australia: 34 Waterloo Road, NORTHRYDE, NSW 2113, Tel. +61 2 9805 4455, Fax. +61 2 9805 4466

Austria: Computerstr. 6, A-1101 WIEN, P.O. Box 213, Tel. +43 1 60 101, Fax. +43 1 60 101 1210

Belarus: Hotel Minsk Business Center, Bld. 3, r. 1211, Volodarski Str. 6, 220050 MINSK, Tel. +375 172 200 733, Fax. +375 172 200 773

Belgium: see The Netherlands

Brazil: see South America

Bulgaria: Philips Bulgaria Ltd., Energoprojekt, 15th floor, 51 James Bourchier Blvd., 1407 SOFIA, Tel. +359 2 689 211, Fax. +359 2 689 102

Canada: PHILIPS SEMICONDUCTORS/COMPONENTS, Tel. +1 800 234 7381

China/Hong Kong: 501 Hong Kong Industrial Technology Centre, 72 Tat Chee Avenue, Kowloon Tong, HONG KONG, Tel. +852 2319 7888, Fax. +852 2319 7700

Colombia: see South America

Czech Republic: see Austria

Denmark: Prags Boulevard 80, PB 1919, DK-2300 COPENHAGEN S, Tel. +45 32 88 2636, Fax. +45 31 57 0044

Finland: Sinikallio 3, FIN-02630 ESPOO, Tel. +358 9 615800, Fax. +358 9 61580920

France: 4 Rue du Port-aux-Vins, BP317, 92156 SURESNES Cedex, Tel. +33 1 40 99 6161, Fax. +33 1 40 99 6427

Germany: Hammerbrookstraße 69, D-20097 HAMBURG, Tel. +49 40 23 53 60, Fax. +49 40 23 536 300

Greece: No. 15, 25th March Street, GR 17778 TAVROS/ATHENS, Tel. +30 1 4894 339/239, Fax. +30 1 4814 240

Hungary: see Austria

India: Philips INDIA Ltd, Shivagard Estate, A Block, Dr. Annie Besant Rd, Worli, MUMBAI 400 018, Tel. +91 22 4939 541, Fax. +91 22 4938 722

Indonesia: see Singapore

Ireland: Newstead, Clonskeagh, DUBLIN 14, Tel. +353 1 7640 000, Fax. +353 1 7640 200

Israel: RAPAC Electronics, 7 Kehilat Saloniki St, PO Box 18053, TEL AVIV 61180, Tel. +972 3 645 0444, Fax. +972 3 649 1007

Italy: PHILIPS SEMICONDUCTORS, Piazza IV Novembre 3, 20124 MILANO, Tel. +39 2 6752 2531, Fax. +39 2 6752 2557

Japan: Philips Bldg 13-37, Kohnan 2-chome, Minato-ku, TOKYO 108, Tel. +81 3 3740 5130, Fax. +81 3 3740 5077

Korea: Philips House, 260-199 Itaewon-dong, Yongsan-ku, SEOUL, Tel. +82 2 709 1412, Fax. +82 2 709 1415

Malaysia: No. 76 Jalan Universiti, 46200 PETALING JAYA, SELANGOR, Tel. +60 3 750 5214, Fax. +60 3 757 4880

Mexico: 5900 Gateway East, Suite 200, EL PASO, TEXAS 79905, Tel. +9-5 800 234 7381

Middle East: see Italy

Netherlands: Postbus 90050, 5600 PB EINDHOVEN, Bldg. VB, Tel. +31 40 27 82785, Fax. +31 40 27 88399

New Zealand: 2 Wagener Place, C.P.O. Box 1041, AUCKLAND, Tel. +64 9 849 4160, Fax. +64 9 849 7811

Norway: Box 1, Manglerud 0612, OSLO, Tel. +47 22 74 8000, Fax. +47 22 74 8341

Philippines: Philips Semiconductors Philippines Inc., 106 Valero St. Salcedo Village, P.O. Box 2108 MCC, MAKATI, Metro MANILA, Tel. +63 2 816 6380, Fax. +63 2 817 3474

Poland: Ul. Lukiska 10, PL 04-123 WARSZAWA, Tel. +48 22 612 2831, Fax. +48 22 612 2327

Portugal: see Spain

Romania: see Italy

Russia: Philips Russia, Ul. Usalcheva 35A, 119048 MOSCOW, Tel. +7 095 755 6918, Fax. +7 095 755 6919

Singapore: Lorong 1, Toa Payoh, SINGAPORE 1231, Tel. +65 350 2538, Fax. +65 251 6500

Slovakia: see Austria

Slovenia: see Italy

South Africa: S.A. PHILIPS Pty Ltd., 195-215 Main Road Martindale, 2092 JOHANNESBURG, P.O. Box 7430 Johannesburg 2000, Tel. +27 11 470 5911, Fax. +27 11 470 5494

South America: Rua do Riojo 220, 5th floor, Suite 51, 04552-903 São Paulo, SÃO PAULO - SP, Brazil, Tel. +55 11 821 2333, Fax. +55 11 829 1849

Spain: Balmaes 22, 08007 BARCELONA, Tel. +34 3 301 6312, Fax. +34 3 301 4107

Sweden: Kottbygatan 7, Akalla, S-16485 STOCKHOLM, Tel. +46 8 632 2000, Fax. +46 8 632 2745

Switzerland: Allmendstrasse 140, CH-8027 ZÜRICH, Tel. +41 1 488 2686, Fax. +41 1 481 7730

Taiwan: Philips Semiconductors, 6F, No. 96, Chien Kuo N. Rd., Sec. 1, TAIPEI, Taiwan Tel. +886 2 2134 2865, Fax. +886 2 2134 2874

Thailand: PHILIPS ELECTRONICS (THAILAND) Ltd., 209/2 Sanpavuth-Bangna Road Prakanong, BANGKOK 10260, Tel. +66 2 745 4090, Fax. +66 2 398 0793

Turkey: Talatpasa Cad. No. 5, 80640 GÜLTEPE/İSTANBUL, Tel. +90 212 279 2770, Fax. +90 212 282 6707

Ukraine: PHILIPS UKRAINE, 4 Patrios Lumumba str., Building B, Floor 7, 252042 KIEV, Tel. +380 44 264 2776, Fax. +380 44 268 0461

United Kingdom: Philips Semiconductors Ltd., 276 Bath Road, Hayes, MIDDLESEX UB3 5BX, Tel. +44 181 730 5000, Fax. +44 181 754 8421

United States: 811 East Arques Avenue, SUNNYVALE, CA 94088-3406, Tel. +1 800 234 7381

Uruguay: see South America

Vietnam: see Singapore

Yugoslavia: PHILIPS, Trg N. Pasica 5v, 11000 BEOGRAD, Tel. +381 11 625 344, Fax. +381 11 635 777

For all other countries apply to: Philips Semiconductors, Marketing & Sales Communications, Building BE-p, P.O. Box 218, 5600 MD EINDHOVEN, The Netherlands, Fax. +31 40 27 24825

Internet: <http://www.semiconductors.philips.com>

© Philips Electronics N.V. 1997

SCA54

All rights are reserved. Reproduction in whole or in part is prohibited without the prior written consent of the copyright owner.

The information presented in this document does not form part of any quotation or contract, is believed to be accurate and reliable and may be changed without notice. No liability will be accepted by the publisher for any consequence of its use. Publication thereof does not convey nor imply any license under patent- or other industrial or intellectual property rights.

Printed in The Netherlands

11-947-00-82-jpg

Date of release: 1997 May 29

Document order number: 5997 750 02/31

Let's make things better.

Philips
Semiconductors



PHILIPS



www.fairchildsemi.com

Application Note AN-3003

Applications of Non Zero Crossing Triac Drivers Featuring the MOC3011

Construction

The MOC30XX family of non-zero crossing triac drivers consist of an aluminum gallium arsenide infrared LED, optically coupled to a silicon detector chip. These two chips are assembled in a 6 pin DIP package, providing $7.5\text{KV}_{\text{AC(PEAK)}}$ of insulation between the LED and the output detector. These output detector chips are designed to drive triacs controlling loads on 115 and 220V AC power lines. The detector chip is a complex device which functions in the same manner as a small triac, generating the signals necessary to drive the gate of a larger triac such as Fairchild's FKPF12N60. The MOC30XX triacs are capable of controlling larger power triacs with a minimum number of additional components.

Table 1 lists the members of the MOC30XX triac driver family. The family is divided by blocking voltage, V_{DM} , and input LED trigger sensitivity, I_{FT} . MOC3010/1/2 are rated at 250V, the MOC3020/1/2/3 are 400VAC, and the MOC3051/2 have a V_{DM} of 600V.

Basic Electrical Description

The AlGaAs LED has nominal 1.3 V forward drop at 10 mA and a reverse breakdown voltage greater than 3 V. The maximum current to be passed through the LED is 60 mA.

The detector has a minimum blocking voltage of 250 Vdc in either direction in the off state. In the on state, the detector will pass 100 mA in either direction with less than 3 V drop

across the device. Once triggered into the on (conducting) state, the detector will remain there until the current drops below the holding current (typically 100 μA) at which time the detector reverts to the off (non-conducting) state. The detector may be triggered into the on state by exceeding the forward blocking voltage, by voltage ramps across the detector at rates exceeding the static dv/dt rating, or by photons from the LED. The LED is guaranteed by the specifications to trigger the detector into the on state when the current passing through the LED is equal to, or greater than the $I_{\text{FT(max)}}$ specification. For example the MOC3011 requires at least 10mA of LED current to guarantee turn-on. A similar device, the MOC3012, has exactly the same characteristics except it requires only 5 mA to trigger.

Since the MOC3011 looks essentially like a small optically triggered triac, we have chosen to represent it as shown on Figure 1.

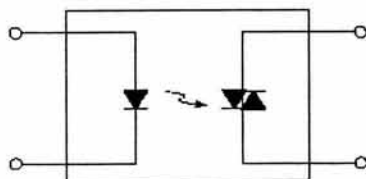


Figure 1. Schematic Representation of MOC3011 and MOC3012

	Non-Zero-Crossing Triac Optocouplers						
	Part Number	I_{FT} (mA) max	V_{TM} (V) max	V_{DM} (V) min	I_{H} (mA)	I_{DRM} (mA) max	$V_{\text{ISO AC}}$ (PEAK)
	MOC3010	15	3	250	100	100	7.5kV
	MOC3011	10	3	250	100	100	7.5kV
	MOC3012	5	3	250	100	100	7.5kV
	MOC3020	30	3	400	100	100	7.5kV
	MOC3021	15	3	400	100	100	7.5kV
	MOC3022	10	3	400	100	100	7.5kV
	MOC3023	5	3	400	100	100	7.5kV
	MOC3051	15	2.5	600	280	100	7.5kV
	MOC3052	10	2.5	600	280	100	7.5kV

Table 1.

AN-3003

APPLICATION NOTE

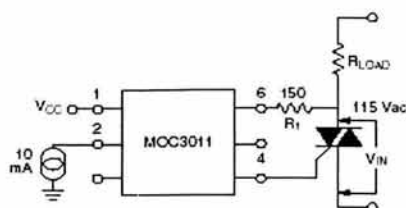
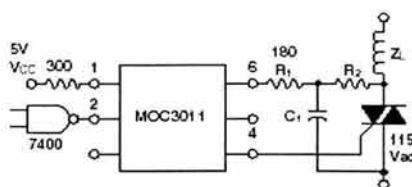


Figure 2. Simple Triac Gating Circuit



NOTE: Circuit supplies 25mA drive to gate of triac at $V_{in} = 25V$ and $T_A < 70^\circ C$

TRIAC		
I_{GT}	R_2	C
15 mA	2400	0.1
30 mA	1200	0.2
50 mA	800	0.3

Figure 3. Logic to Inductive Load Interface

Using the MOC3011 as a Triac Driver

Triac Driving Requirements

Figure 2 shows a simple triac driving circuit using the MOC3011. The maximum surge current rating of the MOC3011 sets the minimum value of R_1 through the equation:

$$R_1 (\min) = V_{in}(\text{pk}) / I_{2A}$$

If we are operating on the 115 Vac nominal line voltage, $V_{in}(\text{pk}) = 180 \text{ V}$, then

$$R_1 (\min) = V_{in}(\text{pk}) / I_{2A} = 150 \text{ ohms.}$$

In practice, this would be a 150 or 180 ohm resistor. If the triac has $I_{GT} = 100 \text{ mA}$ and $V_{GT} = 2 \text{ V}$, then the voltage V_{in} necessary to trigger the triac will be given by,

$$V_{inT} = R_1 \cdot I_{GT} + V_{GT} + V_{TM} = 20 \text{ V.}$$

Resistive Loads

When driving resistive loads, the circuit of Figure 2 may be used. Incandescent lamps and resistive heating elements are the two main classes of resistive loads for which 115 Vac is utilized. The main restriction is that the triac must be properly chosen to sustain the proper inrush loads. Incandescent lamps can sometimes draw a peak current known as "flash-over" which can be extremely high, and the triac should be protected by a fuse or rated high enough to sustain this current.

Line Transients-Static dv/dt

Occasionally transient voltage disturbances on the ac line will exceed the static dv/dt rating of the MOC3011. In this case, it is possible the MOC3011 and the associated triac will be triggered on. This is usually not a problem, except in unusually noisy environments, because the MOC3011 and its triac will commute off at the next zero crossing of the line voltage, and most loads are not noticeably affected by an occasional single half-cycle of applied power. See Figure 4 for typical dv/dt versus temperature curves.

Inductive Loads-Commutating dv/dt

Inductive loads (motors, solenoids, magnets, etc.) present a problem both for triacs and for the MOC3011 because the voltage and current are not in phase with each other. Since the triac turns off at zero current, it may be trying to turn off when the applied current is zero but the applied voltage is high. This appears to the triac like a sudden rise in applied voltage, which turns on the triac if the rate of rise exceeds the commutating dv/dt of the triac or the static dv/dt of the MOC3011.

Snubber Networks

The solution to this problem is provided by the use of "snubber" networks to reduce the rate of voltage rise seen by the device. In some cases, this may require two snubbers—one for the triac and one for the MOC3011. The triac snubber is dependent upon the triac and load used and will not be discussed here. In many applications the snubber used for the MOC3011 will also adequately protect the triac.

In order to design a snubber properly, one should really know the power factor of the reactive load, which is defined as the cosine of the phase shift caused by the load. Unfortunately, this is not always known, and this makes snubbing network design somewhat empirical. However, a method of designing a snubber network may be defined, based upon a typical power factor. This can be used as a "first cut" and later modified based upon experiment.

Assuming an inductive load with a power factor of $PF = 0.1$ is to be driven. The triac might be trying to turn off when the applied voltage is given by

$$V_{io} = V_{pk} \sin \theta = V_{pk} = 180 \text{ V}$$

APPLICATION NOTE

AN-3093

First, one must choose R_1 (Figure 3) to limit the peak capacitor discharge current through the MOC3011. This resistor is given by

$$R_1 = V_{pk}/I_{max} = 180/1.2 \text{ A} = 150\Omega$$

A standard value, 180 ohm resistor can be used in practice for R_1 .

It is necessary to set the time constant for $\tau = R_2C$. Assuming that the triac turns off very quickly, we have a peak rate of rise at the MOC3011 given by

$$dv/dt = V_{bo}/\tau = V_{bo}/R_2C$$

Setting this equal to the worst case dv/dt (static) for the MOC3011 which we can obtain from Figure 4 and solving for R_2C :

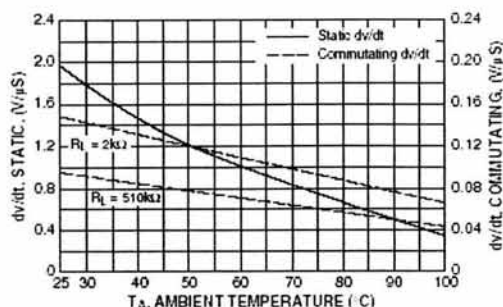
$$dv/dt(T_1 = 70^\circ\text{C}) = 0.8 \text{ V}/\mu\text{s} = 8 \times 10^5 \text{ V/s}$$

$$R_2C = V_{bo}/(dv/dt) = 180/(8 \times 10^5) = 225 \times 10^{-6}$$

The largest value of R_2 available is found, taking into consideration the triac gate requirements. Using Fairchild's power triac, FKPF12N60, $I_{GT} = 30 \text{ mA}$. If the triac is to be triggered when $V_{in} \leq 40\text{V}$:

$$(R_1 + R_2) = V_{in}/I_{GT} = 40/0.030 = 1.33 \text{ k}$$

If we let $R_2 = 1200$ ohms and $C = 0.1 \mu\text{F}$, the snubbing requirements are met. Triacs having less sensitive gates will require that R_2 be lower and C be correspondingly higher as shown in Figure 3.



Input Circuitry

Resistor Input

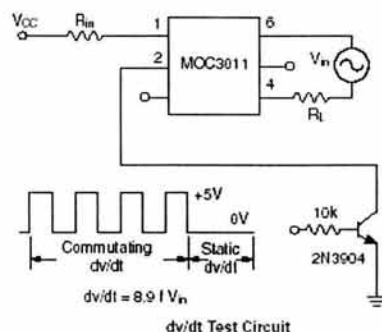
When the input conditions are well controlled, as for example when driving the MOC3011 from a logic gate, only a single resistor is necessary to interface the gate to the input LED of the MOC3011. The resistor should be chosen to set the current into the LED to be a minimum of 10 mA but no more than 50 mA. 15 mA is a suitable value, which allows for considerable degradation of the LED over time, and assures a long operating life for the coupler. Currents higher than 15 mA do not improve performance and may hasten the aging process inherent in LEDs. Assuming the forward drop to be 1.5 V at 15 mA allows a simple formula to calculate the input resistor.

$$R_1 = (V_{CC} - 1.5)/0.015$$

Examples of resistive input circuits are seen in Figures 1 and 5.

Increasing Input Sensitivity

In some cases, the logic gate may not be able to source or sink 15 mA directly. CMOS, for example, is specified to have only 0.5 mA output, which must then be increased to drive the MOC3011. There are numerous ways to increase this current to a level compatible with the MOC3011 input requirements; an efficient way is to use the Fairchild TinyLogic™, NC7S04 shown in Figure 5.

Figure 4. dv/dt versus Temperature

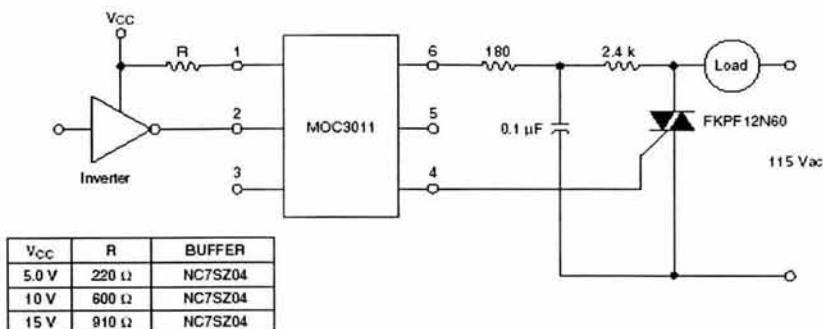


Figure 5. MOS to AC Load Interface

Input Protection Circuits

In some applications, such as solid state relays, in which the input voltage varies widely the designer may want to limit the current applied to the LED of the MOC3011. The circuit shown in Figure 6 allows a non-critical range of input voltages to properly drive the MOC3011 and at the same time protects the input LED from inadvertent application of reverse polarity.

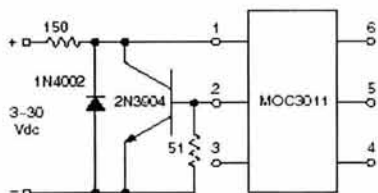


Figure 6. MOC3011 Input Protection Circuit

LED Lifetime

All light emitting diodes slowly decrease in brightness during their useful life, an effect accelerated by high temperature and high LED currents. To allow a safety margin and ensure long service life, the MOC3011 is actually tested to trigger at a value lower than the specified 10 mA input

threshold current. The designer can therefore design the input circuitry to supply 10 mA to the LED and still be sure of satisfactory operation over a long operating lifetime. On the other hand, care should be taken to ensure that the maximum LED input current (50 mA) is not exceeded or the lifetime of the MOC3011 may be shortened.

Applications Examples

Using the MOC3011 on 240 Vac Lines

The rated voltage of a MOC3011 is not sufficiently high for it to be used directly on 240 Vac line; however, the designer may attach two of them in series. When used this way, two resistors are required to equalize the voltage dropped across them as shown in Figure 7.

Remote Control of ac Voltage

Local building codes frequently require all 115 Vac light switch wiring to be enclosed in conduit. By using a MOC3011, a triac, and a low voltage source, it is possible to control a large lighting load from a long distance through low voltage signal wiring which is completely isolated from the ac line. Such wiring usually is not required to be put in conduit, so the cost-savings in installing a lighting system in commercial or residential buildings can be considerable. An example is shown in Figure 8. Naturally, the load could also be a motor, fan, pool pump, etc.

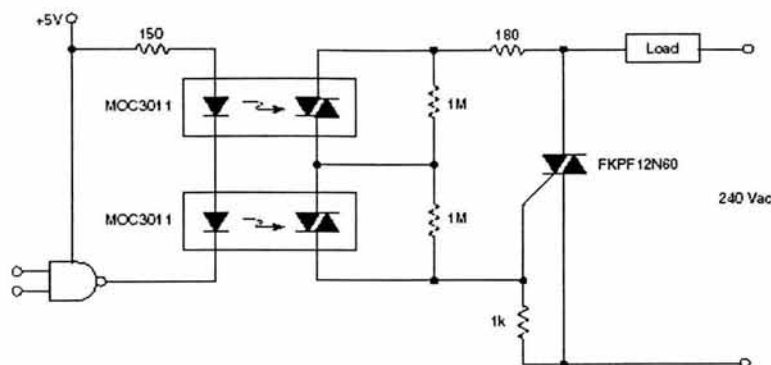


Figure 7. 2 MOC3011 Triac Drivers in Series to Drive 240 V Triac

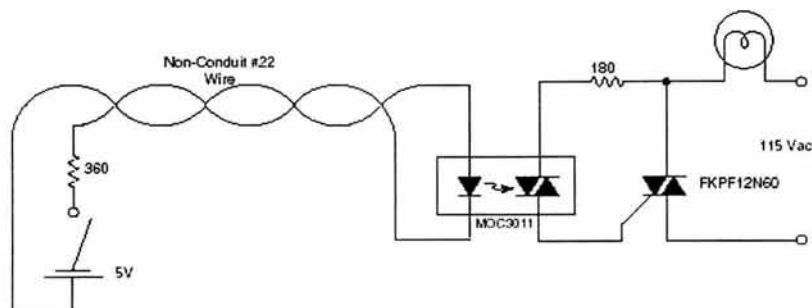


Figure 8. Remote Control of ac Loads Through Low Voltage Non-Conduit Cable

Solid State Relay

Figure 9 shows a complete general purpose, solid state relay stubbed for inductive loads with input protection. When the designer has more control of the input and output conditions, he can eliminate those components which are needed for his particular application to make the circuit more cost effective.

Interfacing Microprocessors to 115 Vac Peripherals

The output of a typical microcomputer input-output (I/O) port is a TTL-compatible terminal capable of driving one or two TTL loads. This is not quite enough to drive the MOC3011, nor can it be connected directly to an SCR or

triac, because computer common is not normally referenced to one side of the ac supply. The Fairchild TinyLogic™ NC7SZ04 UHS inverter can provide the LED current drive required by the MOC3011 family. If the second input of a 2 input gate is tied to a simple timing circuit, it will also provide energization of the triac only at the zero crossing of the ac line voltage as shown in Figure 10. This technique extends the life of incandescent lamps and reduces EMI generated by load switching. Of course, zero crossing can be generated within the micro-computer itself, but this requires considerable software overhead and usually just as much hardware to generate the zero-crossing timing signals.

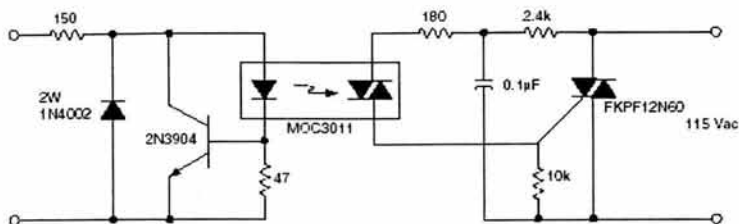


Figure 9. Solid-State Relay

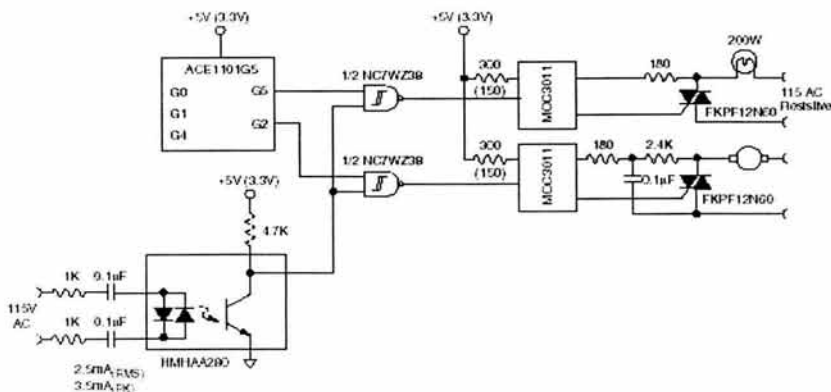


Figure 10. Interfacing an Arithmetic Controller Engine to 115 Vac Loads

DISCLAIMER

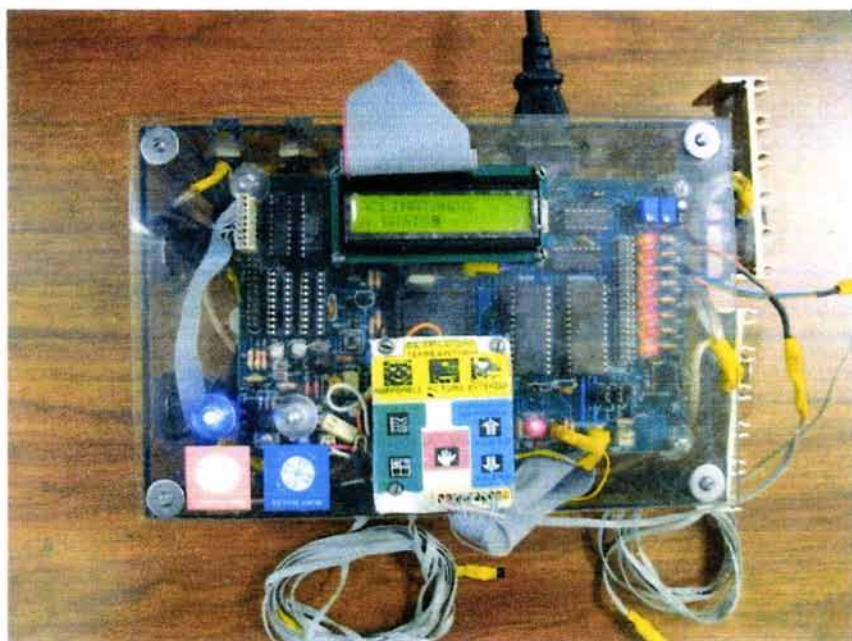
FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, or (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

A.18. FOTOGRAFÍAS DEL CONTROLADOR DISEÑADO



EQUIPO COMPLETO Y APLICACIÓN DEL SISTEMA

